

PROYECTO APLICADO  
EVALUAR LOS BENEFICIOS DE LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES PARA  
AHORRO DE ENERGÍA EN LA EMPRESA AJE COLOMBIA S.A

MARYURIS GONZÁLEZ JAIME

TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, UNAD  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
BARRANQUILLA, COLOMBIA

2018

PROYECTO APLICADO  
EVALUAR LOS BENEFICIOS DE LA INSTALACIÓN DE PANELES SOLARES PARA  
AHORRO DE ENERGÍA EN LA EMPRESA AJE COLOMBIA S.A

*MARYURIS GONZÁLEZ JAIME*

TRABAJO DE GRADO

*ALEJANDRA MARGARITA OLMEDO*

TUTORA



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA, UNAD  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BARRANQUILLA, COLOMBIA

2018

### **Dedicatoria**

*A Dios por brindarme sabiduría, fortaleza y ser mi guía en este proceso, a mi hija Valeria por ser el motor de mi vida, a Ludis y Oscar mis adorados padres quienes me dieron las bases para continuar este camino del estudio, por su amor y apoyo en todo momento, al igual que mis hermanos y a todas las personas que durante estos años me ayudaron en mi crecimiento profesional.*

### **Agradecimientos**

*A Dios por todas las bendiciones y oportunidades que brinda a mi vida*

*A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia que me dio la oportunidad de formarme como ingeniera Ambiental.*

*A la empresa Aje Colombia S.A por permitirme realizar este proyecto en sus instalaciones.*

*A Alejandra Olmedo, asesora del proyecto por su apoyo, orientación, paciencia y aportes brindados para el desarrollo de esta investigación.*

<b>Resumen analítico especializado (RAE)</b>	
<b>Título</b>	<b>Evaluar los beneficios de la instalación de paneles solares para ahorro de energía en la empresa Aje Colombia S.A</b>
<b>Modalidad de trabajo de grado</b>	Proyecto aplicado
<b>Línea de investigación</b>	Gestión y manejo ambiental.
<b>Autores</b>	Maryuris González Jaime
<b>Institución</b>	Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)
<b>Fecha</b>	Octubre 2018
<b>Palabras claves</b>	Paneles, fotovoltaica, renovable, energía solar
<b>Descripción</b>	<p>En la empresa Aje Colombia S.A, a la fecha uno de los costos más altos en los que debe incurrir la entidad es en el de energía con un promedio mensual de \$ 154.768.064, este representa el 3,8 % del total de los costos de transformación, por lo que estos costos de producción se reflejan en el valor final del producto.</p> <p>Por lo que se hace necesario estudiar alternativas que posibiliten la disminución de costos a mediano y largo plazo, para que los productos de la empresa puedan ser más competitivos en el mercado.</p>
<b>Contenido</b>	<p>Introducción</p> <p>Definición de problema</p> <p>Descripción del problema</p>

	Formulación del problema
	Justificación
	Objetivos
	Objetivo General
	Objetivos Específicos
	Fundamentación teórica
	Contexto global
	Contexto nacional
	Marco conceptual
	Marco legal
	Marco metodológico
	Tipo de estudio
	Alcance del proyecto
	Fases del proyecto
	Fuentes de información
	Fuentes primarias
	Fuentes secundarias
	Población objeto
	Ubicación geográfica Aje Colombia s.a
	Información general del municipio de Malambo
	Muestra
	Resultados y/ o propuesta de solución
	Diagnóstico Empresarial

	Nubosidad
	Temperatura
	Precipitación
	Lluvia
	Sol
	Viento
	Radiación solar y brillo
	Balance de energía
	Consumo histórico mensual 2017
	Consumo histórico mensual 2018
	Huella de carbono de la planta de producción
	Sistema eléctrico actual de Aje Colombia S.A
	Sistema estructural de Aje Colombia S.A
	Diseño de la alternativa propuesta Implementación de sistema fotovoltaico de la empresa
	Cálculos necesarios para la ubicación del sistema
	Calculo de orientación e inclinación
	Disponibilidad del recurso solar
	Calculo de horas solares pico HSP
	Factor de perdidas
	Número de paneles
	Inversor
	Área de ubicación

	<p>Análisis de viabilidad de la propuesta</p> <p>Costo de la ubicación del sistema solar fotovoltaico</p> <p>Interpretación de resultados.</p> <p>Costo vs beneficios</p> <p>Beneficios ambientales</p> <p>Conclusiones</p> <p>Recomendaciones</p> <p>Referencias</p> <p>Anexos</p>
<b>Metodología</b>	<p>La metodología utilizada en este proyecto se fundamenta en la investigación descriptiva de tipo cuantitativa, utilizando los siguientes métodos a través de datos primarios</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Documentación de fuentes primarias</li> <li>▪ Observación directa</li> <li>▪ Entrevista</li> </ul> <p>El proyecto se desarrolla en las siguientes fases:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Fase de planeación y diseño: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Identificación de la población a estudiar</li> <li>○ Diagnostico empresarial.</li> </ul> </li> <li>❖ Fase empírica: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Investigación y recolección de datos.</li> </ul> </li> <li>❖ Fase analítica: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Análisis de datos</li> </ul> </li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Interpretación de resultados.</li> <li>❖ Fase de difusión: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Comunicación de las observaciones</li> <li>○ Entrega del producto final.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Conclusiones</b>	<p>El presente proyecto es viable porque permite disminuir el consumo de los recursos naturales y generar ahorros anuales en el costo del servicio para la compañía de un 28%, esto equivale a 82 millones de pesos aproximadamente, este ahorro se verá reflejado a partir del sexto (6) mes de ubicado el sistema ya que durante este periodo se retornara la inversión de las adecuaciones civiles y de trabajo seguro en alturas.</p> <p>Por medio de este estudio se demuestra que la empresa dejaría de producir 203.1 kg/año de CO<sub>2</sub> y así minimizar los impactos en el medio ambiente.</p> <p>Según la evaluación costo beneficio la inversión de \$400 millones de pesos necesarios para la adecuación civil, TSA, entre otros tendrá un retorno de inversión no superior a 6 meses según la proyección de ahorro vista en la tabla 6.</p> <p>La viabilidad del proyecto también se sustenta debido al modelo de negocio con el cual se ejecutaría (PPA: pague la energía consumida)</p>

	<p>donde, como se indica en la justificación la inversión en la instalación y mantenimiento del sistema sería de \$0, ya que dentro del modelo de contrato que se realizaría con la empresa que instalaría el sistema solo se pagara la energía consumida, el diseño, los costos de construcción, instalación y mantenimiento el sistema por los años de contrato serán asumidos por la empresa contratada.</p>
<p><b>Referencias bibliográficas</b></p>	<p>Acciona. (s.f.). <i>Acciona</i>. Obtenido de <a href="https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/">https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/</a></p> <p>Alibaba.com. (s.f.). Obtenido de Alibaba.com: <a href="https://spanish.alibaba.com/product-detail/100watt-125w-140-watt-145w-150-wp-12v-black-solar-panel-build-homemade-solar-panel-60472671443.html">https://spanish.alibaba.com/product-detail/100watt-125w-140-watt-145w-150-wp-12v-black-solar-panel-build-homemade-solar-panel-60472671443.html</a></p> <p>Ambiente soluciones. (s.f.). <i>Conexión on/grid</i>. Obtenido de <a href="https://www.ambientesoluciones.com/sitio/contenidos_mo.php?c=430">https://www.ambientesoluciones.com/sitio/contenidos_mo.php?c=430</a></p> <p>Antioquia, U. d. (7 de Julio de 2019). <i>Centro virtual de noticias</i>. Obtenido de <a href="https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html">https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html</a></p> <p>Cantillo, E., &amp; Conde, F. (2011). Diagnóstico técnico y comercial del sector solar fotovoltaico en la región Caribe Colombiana. <i>Repositorio digital e institucional</i>, 81-88.</p> <p>Celsia. (2018). Proyecto Solar Fotovoltaico Aje Colombia s.a.</p> <p>Celsia. (2018). <i>Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia</i>. Obtenido de <a href="https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia">https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia</a></p> <p>Cleanergysolar.com. (2015). Obtenido de <a href="https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/tablafactor-correccion-k.pdf">https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/tablafactor-correccion-k.pdf</a></p> <p>Efimarket. (01 de 03 de 2018). Obtenido de <a href="https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/">https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/</a></p> <p>El universal. (16 de Noviembre de 2016). <i>La energía en la Costa: un problema de hace más de una década</i>. Obtenido de <a href="https://www.eluniversal.com.co/regional/la-energia-en-la-costa-un-problema-de-hace-mas-de-una-decada-240194-AXEU348549">https://www.eluniversal.com.co/regional/la-energia-en-la-costa-un-problema-de-hace-mas-de-una-decada-240194-AXEU348549</a></p> <p>Espitia, L. (15 de Octubre de 2014). <i>Paneles solares</i>. Obtenido de <a href="http://enerficaz.blogspot.com/">http://enerficaz.blogspot.com/</a></p>

	<p>Garriga, A. (Enero de 2017). <i>Resumen de CCPM (Critical Chain)</i>. Obtenido de Recursos enprojectmanagement: <a href="https://www.recursoenprojectmanagement.com/critical-chain/Gestion-Calidad.com">https://www.recursoenprojectmanagement.com/critical-chain/Gestion-Calidad.com</a>, Admin. (04 de 09 de 2016). <i>Gestión de Calidad</i>. Obtenido de <a href="http://gestion-calidad.com/medio-ambiente/energias-renovables">http://gestion-calidad.com/medio-ambiente/energias-renovables</a></p> <p>Guevara, L. (21 de Mayo de 2018). <i>La República</i>. Obtenido de Olímpica instaló planta de 1.168 paneles solares en una tienda Sao de Barranquilla: <a href="https://www.larepublica.co/empresas/olimpica-instalo-planta-de-1168-paneles-solares-en-una-tienda-sao-de-barranquilla-2729603">https://www.larepublica.co/empresas/olimpica-instalo-planta-de-1168-paneles-solares-en-una-tienda-sao-de-barranquilla-2729603</a></p> <p>IDEAM. (s.f.). <i>Atlas de radiación solar</i>. Obtenido de <a href="http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57">http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57</a></p> <p>Mas libertad. (18 de Enero de 2018). <i>Colombia redujo sus emisiones de CO2 en 2017</i>. Obtenido de <a href="https://maslibertad.com.co/colombia-redujo-sus-emisiones-de-co2/">https://maslibertad.com.co/colombia-redujo-sus-emisiones-de-co2/</a></p> <p>Mendez, J., &amp; Cuervo, R. (2007). <i>Energía Solar Fotovoltaica</i>. Madrid: FC Editorial.</p> <p>Mendez, J., &amp; Cuervo, R. (2007). <i>Energía solar fotovoltaica 2da Edición</i>. En R. C. Javier Mendez, <i>Energía solar fotovoltaica 2da Edición</i> (pág. 15). Fc editorial.</p> <p>Montoya, C. (2011). <i>Energía Solar Fotovoltaica. Escuela de organización industrial</i>, 6 -8.</p> <p>Moro, M. (2010). <i>Instalaciones solares Fotovoltaicas</i>. Madrid: Paraninfo.</p> <p>Mouthón, L. (10 de Junio de 2018). <i>El Heraldo</i>. Obtenido de La Costa toma el liderazgo en desarrollo de energías alternativas: <a href="https://www.elheraldo.co/economia/la-costa-toma-el-liderazgo-en-desarrollo-de-energias-alternativas-505416">https://www.elheraldo.co/economia/la-costa-toma-el-liderazgo-en-desarrollo-de-energias-alternativas-505416</a></p> <p>Pep Puig, M. (s.f.). <i>Energía renovables para todos. Energías renovables</i>, 2.</p> <p>Ramirez, J. G. (Octubre de 2017). <i>La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. Repositorio institucional</i>, 12. Obtenido de La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas: <a href="https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312">https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312</a></p> <p>Rocha, C. M. (2015, p. 259). <i>Metodología de la investigación</i>. México: Progreso S.A de C.V.</p> <p>Rodriguez, H. (2008). <i>Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. Revista de Ingeniería</i>, 1-7.</p> <p>Roldan, J. (2010). <i>Instalaciones solares fotovoltaicas</i>. Madrid: Paraninfo.</p> <p>Schneider, H., &amp; Samaniego, J. L. (2009). <i>La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. CEPAL-Colección documentos de proyectos</i>, 8.</p>
--	---

	<p>Sitio solar.com portal de energías renovables. (2013). <i>Sitio solar.com portal de energías renovables</i>. Obtenido de <a href="http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/">http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/</a></p> <p>solar, E. (2018). <a href="https://solar-energia.net/energias-renovables">https://solar-energia.net/energias-renovables</a>. Obtenido de Energía Renovable: <a href="https://solar-energia.net/energias-renovables">https://solar-energia.net/energias-renovables</a></p> <p>Universia. (04 de septiembre de 2017). <i>Universia</i>. Obtenido de <a href="https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html">https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html</a></p> <p>Universidad de Alicante. (s.f.). <i>Técnicas de investigación</i>. Obtenido de <a href="https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-2-fuentes-secundarias-y-documentacion2/datos-primarios-y-datos-secundarios">https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-2-fuentes-secundarias-y-documentacion2/datos-primarios-y-datos-secundarios</a></p> <p>Weather Spark. (s.f.). <i>El clima promedio en Malambo</i>. Obtenido de <a href="https://es.weatherspark.com/y/23475/Clima-promedio-en-Malambo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity">https://es.weatherspark.com/y/23475/Clima-promedio-en-Malambo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity</a></p> <p>Wega Lighting. (s.f.). <i>Como funciona un sistema On-Grid</i>. Obtenido de <a href="http://www.wega-lighting.com/energy/inversores/sistema-on-grid/">http://www.wega-lighting.com/energy/inversores/sistema-on-grid/</a></p> <p>WWF. (2018). <i>WWF</i>. Obtenido de <a href="http://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/">http://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/</a></p> <p>York castillo, M. C. (2014, p.46). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico Colombiano. 39-46.</p>
--	--

## **Resumen**

Teniendo en cuenta que el consumo o el agotamiento de los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural), es cada vez mayor, y que el agua recurso que permite poner en funcionamiento las hidroeléctricas en Colombia también se está agotando por la acción del hombre, por la contaminación de los ríos, el cambio climático está secando nuestras fuentes hídricas, (WWF, 2018) se debe pensar en una fuente de energía alternativa que satisfaga las necesidades de subsistencia del ser humano. En cuanto a uso de energía eléctrica se refiere, una de estas energías alternativas es la solar la cual se puede recolectar o captar a través de paneles que luego pueden convertirse en electricidad.

Con este proyecto se podrán evaluar los diferentes beneficios que se obtienen con la utilización de energías alternativas, los datos obtenidos en la empresa de consumo y costo de energía se compararan con los obtenidos del estudio de factibilidad del proyecto (estudio realizado por una entidad externa a la compañía), estos resultados se plantearán a las directivas de la compañía para que determinen la viabilidad de ejecución del proyecto.

### **Abstract**

Taking into account that the consumption and depletion of fossil fuels (oil, coal and natural gas) is increasing, and that the water that allows hydroelectric plants to operate in Colombia is also depleting due to the action of man, the reason of rivers, climate change is drying up our water sources, it is for this reason that we must think of an alternative energy source that satisfies the subsistence needs of the human being in terms of an electric power use is concerned, of these alternative alternatives is solar energy, which can be collected or captured through panels that can then be converted into electricity.

This project is based on the results of the same. the company), these results were raised in the company's directives to determine the viability of the execution of the project.

## Contenido

Resumen.....	13
Abstract .....	14
Introducción .....	20
Definición de problema.....	21
Descripción del problema.....	21
Formulación del problema.....	21
Justificación .....	22
Objetivos.....	23
Objetivo General .....	23
Objetivos Específicos .....	23
Fundamentación teórica.....	24
Contexto global .....	24
Contexto nacional.....	27
Marco conceptual.....	42
Marco legal .....	43
Marco metodológico .....	45
Tipo de estudio.....	45
Alcance del proyecto .....	45
Fases del proyecto .....	45
Fuentes de información .....	46
Fuentes primarias.....	46
Fuentes secundarias .....	46
Población objeto .....	47
Ubicación geográfica Aje Colombia s.a.....	47
Información general del municipio de Malambo .....	47
Muestra.....	49
Resultados y/ o propuesta de solución .....	49
Diagnóstico Empresarial .....	49
Nubosidad.....	49

Temperatura.....	50
Precipitación .....	50
Lluvia.....	52
Sol.....	52
Viento .....	54
Radiación solar y brillo.....	55
Balance de energía .....	56
Consumo histórico mensual 2017 .....	58
Consumo histórico mensual 2018 .....	59
Huella de carbono de la planta de producción .....	60
Sistema eléctrico actual de Aje Colombia S.A .....	60
Sistema estructural de Aje Colombia S.A.....	61
Diseño de la alternativa propuesta Implementación de sistema fotovoltaico de la empresa .....	62
Cálculos necesarios para la ubicación del sistema .....	62
Calculo de orientación e inclinación .....	62
Disponibilidad del recurso solar.....	63
Calculo de horas solares pico HSP.....	63
Factor de pérdidas .....	63
Número de paneles .....	67
Inversor .....	68
Área de ubicación.....	69
Análisis de viabilidad de la propuesta .....	70
Costo de la ubicación del sistema solar fotovoltaico .....	70
.....	71
Interpretación de resultados.....	71
Costo vs beneficios .....	71
Beneficios ambientales .....	73
Conclusiones.....	74
Recomendaciones .....	75
Referencias.....	77
Anexos .....	80



## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Efecto fotovoltaico .....	<b>24</b>
<b>Figura 2.</b> Emisión de CO2 año 2017.....	<b>26</b>
<b>Figura 3.</b> Aplicaciones de la energía solar Fotovoltaica .....	<b>34</b>
<b>Figura 4 .</b> Construcción de un modulo.....	<b>37</b>
<b>Figura 5.</b> Huella de Carbono de un habitante de países desarrollados.....	<b>38</b>
<b>Figura 6 .</b> Sistema On-grid.....	<b>41</b>
<b>Figura 7.</b> Ubicación geográfica Aje Colombia S.A .....	<b>47</b>
<b>Figura 8.</b> Categorías de nubosidad.....	<b>49</b>
<b>Figura 9.</b> Temperatura máxima y mínima promedio .....	<b>50</b>
<b>Figura 10.</b> Probabilidad diaria de precipitación.....	<b>51</b>
<b>Figura 11.</b> Precipitación y temperatura.....	<b>51</b>
<b>Figura 12.</b> Precipitación de lluvia mensual.....	<b>52</b>
<b>Figura 13.</b> Salida y puesta del sol .....	<b>53</b>
<b>Figura 14.</b> Niveles de comodidad de la humedad .....	<b>53</b>
<b>Figura 15.</b> Velocidad promedio del viento .....	<b>54</b>
<b>Figura 16.</b> Dirección del viento .....	<b>55</b>
<b>Figura 17.</b> Radiación y Brillo solar.....	<b>55</b>
<b>Figura 18.</b> Balance de energía eléctrica Malambo.....	<b>57</b>
<b>Figura 19.</b> Consumo eléctrico año 2017 .....	<b>58</b>
<b>Figura 20.</b> Consumo eléctrico año 2018 .....	<b>59</b>
<b>Figura 21.</b> Cubierta Planta .....	<b>69</b>

<b>Figura 22.</b> Planos sobre el diseño a implementar .....	<b>71</b>
--	-----------

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Unidades de Radiación Solar .....	39
<b>Tabla 2.</b> Marco Legal .....	43
<b>Tabla 3.</b> Angulos de inclinación de los módulos .....	62
<b>Tabla 4.</b> Eficencia del inversor .....	66
<b>Tabla 5</b> Costo del sistema solar Fotovoltaico .....	70
<b>Tabla 6</b> Consumo eléctrico y ahorro .....	72

## **Introducción**

Los problemas con la energía en la Costa Caribe datan desde los años 90, entre 1992 y 1993, en el gobierno de Cesar Gaviria, donde por causa del fenómeno del niño se presentó una crisis energética a nivel nacional que afectó profundamente la costa, esta se agudizó para los años 1997 y 1998 lo que generó una crisis en las electrificadoras ocasionando que la superintendencia de servicios públicos las intervinieran y no las capitalizaron sino que por el contrario permitió que llegaran 5 empresas privadas las cuales heredaron activos, deudas y trabajadores. Para el año 2001 iniciaron los problemas de la nueva empresa generando cortes a los usuarios, protestas y bloqueos de vías por parte de estos. (El universal, 2016)

Lo anterior no solo afecta a los hogares, también al sector industrial porque el costo del kilovatio de energía en el Atlántico es uno de los más altos a nivel país, aproximadamente \$400 Kw/h en estrato 3, además los constantes cortes disminuyen la productividad de las empresas generando pérdidas económicas al estado y al sector privado; Aje Colombia es una empresa que por su proceso productivo utiliza maquinaria que ocasiona un alto consumo energético, lo que genera el pago de grandes cantidades de dinero por este servicio, por tanto se deben buscar otras opciones energéticas que puedan suplir las necesidades de la compañía a un menor costo, como es el caso de la energía fotovoltaica.

## **Definición de problema**

### Descripción del problema

En la empresa Aje Colombia S.A, a la fecha uno de los costos más altos en los que debe incurrir la entidad es en el de energía con un promedio mensual de \$ 154.768.064, este costo es el 3,8 % total de los costos de transformación, por lo que estos costos de producción se reflejan en el valor final del producto.

Por lo que se hace necesario estudiar alternativas que posibiliten la disminución de costos a mediano y largo plazo, para que los productos de la empresa puedan ser más competitivos en el mercado.

### Formulación del problema

¿Al implementar el sistema de energía alternativa Fotovoltaica para el desarrollo de los procesos productivos en la empresa Aje Colombia S.A, esta bajará los costos que se genera en el pago del servicio de energía?

### **Justificación**

Como se expuso anteriormente la costa Caribe presenta problemas con el suministro de energía ya que su costo es muy elevado en comparación al resto del país y el suministro y calidad deficiente, motivo por el cual se buscan otras alternativas que permitan continuar con el abastecimiento de energía pero que bajen los costos de uso. La energía solar es una de las fuentes de energía más limpia que existe y la que causa menos impacto al medio ambiente, ya que durante su generación no se emiten gases de efecto invernadero como si ocurre con la generación de energía convencional, aunque es una alternativa muy costosa en su implementación se convierte en una inversión con ahorro a mediano y largo plazo. (Celsia, 2018). Para las industrias es muy importante minimizar el costo que se paga en energía, ya que este recurso es uno de los que más consumo tiene en los procesos productivos y también aportar en la minimización de los impactos ambientales que viene generando toda la problemática de calentamiento global y por ende los cambios climáticos que afectan a todas las regiones, es por esto que con el desarrollo de este proyecto se busca disminuir el impacto hacia el medio ambiente generado por el uso de la energía tradicional y disminuir el costo para la empresa por el uso de energía convencional.

Actualmente hay algunas compañías que están generando energía solar aprovechando los altos índices de radiación de la zona, ubicando equipos de su propiedad en las plantas a 0 pesos de inversión por parte del usuario final (modelo de negocio PPA: pague la energía consumida), suministrando aproximadamente un 17% de la energía necesaria a un costo por kilovatio muy inferior al tradicional, esta es una opción que Aje Colombia puede utilizar para iniciar con el uso de energía solar fotovoltaica.

## Objetivos

### Objetivo General

Analizar el costo beneficio que puede obtener la empresa Aje Colombia S.A al implementar la alternativa de instalación de sistemas fotovoltaicos.

### Objetivos Específicos

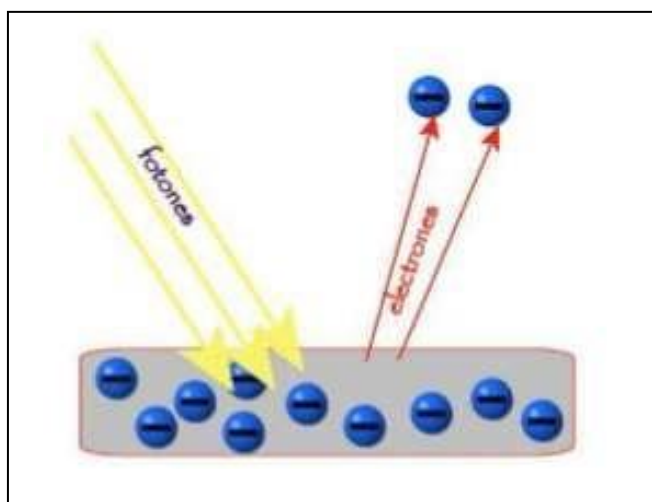
- Diagnosticar las condiciones meteorológicas, físicas y estructurales necesarias para instalar el sistema.
- Caracterizar el consumo de energía eléctrica del año 2017 y 2018 en la empresa Aje Colombia s.a.
- Determinar el costo – beneficio que se obtiene al implementar un sistema de energía fotovoltaica en la empresa Aje Colombia s.a.
- Calcular la huella de carbono de la empresa Aje Colombia s.a., si se instalará el sistema de paneles solares.
- Establecer el sistema solar fotovoltaico que requiere para sus procesos la empresa Aje Colombia s.a, de acuerdo con las condiciones físicas, estructurales y meteorológicas.

## Fundamentación teórica

### Contexto global

“El efecto fotovoltaico fue descubierto por el físico Francos Alexandre Edmond Bequerel en 1839, él experimento en una pila electrolítica con electrodos de platino, al exponer uno de los electrodos a la luz se incrementaba la corriente de la pila” (Sitio solar.com portal de energías renovables, 2013)

“Albert Einstein describe el efecto fotovoltaico en el año 1920, como electrones que absorben energía de la luz (fotones) de forma linealmente proporcional a la frecuencia de la fuente lumínica” (Montoya, 2011, p. 6).



**Figura 1.** Efecto fotovoltaico

**Fuente:** (Montoya, 2011)

“Para el año 1870 W. Grylls Adams a través de un experimento descubrió el efecto que la luz tenía sobre el selenio lo que generaba un flujo de electricidad, esto fue denominado fotoeléctrica” (Espitia, 2014).

“En el año 1885 fue construido el primer módulo fotoeléctrico, el cual contenía selenio y una capa de oro en un soporte metálico” (Gestion-Calidad.com, Admin, 2016).



“En 1954 se produce la primera célula de silicio por parte de laboratorios Bell, con un porcentaje de rendimiento del 6%” (Montoya, 2011, p.6).

“En 1962 se realizó el lanzamiento del Telstar, primer satélite de telecomunicaciones, el cual tenía una potencia fotovoltaica de 14 W” (Montoya, 2011, p.7).

La importancia de la energía fotovoltaica radica en que se necesitan alternativas para frenar el cambio climático ya que este continúa generando consecuencias adversas en el planeta.

Schneider & Samaniego (2009) afirman:

La preocupación internacional por las consecuencias adversas del cambio climático ha motivado a las organizaciones e instituciones a tomar medidas para conocer a fondo la dinámica de los gases de efecto invernadero, siendo la huella de carbono uno de los indicadores reconocidos mundialmente para comprender dicha dinámica. (p.7)

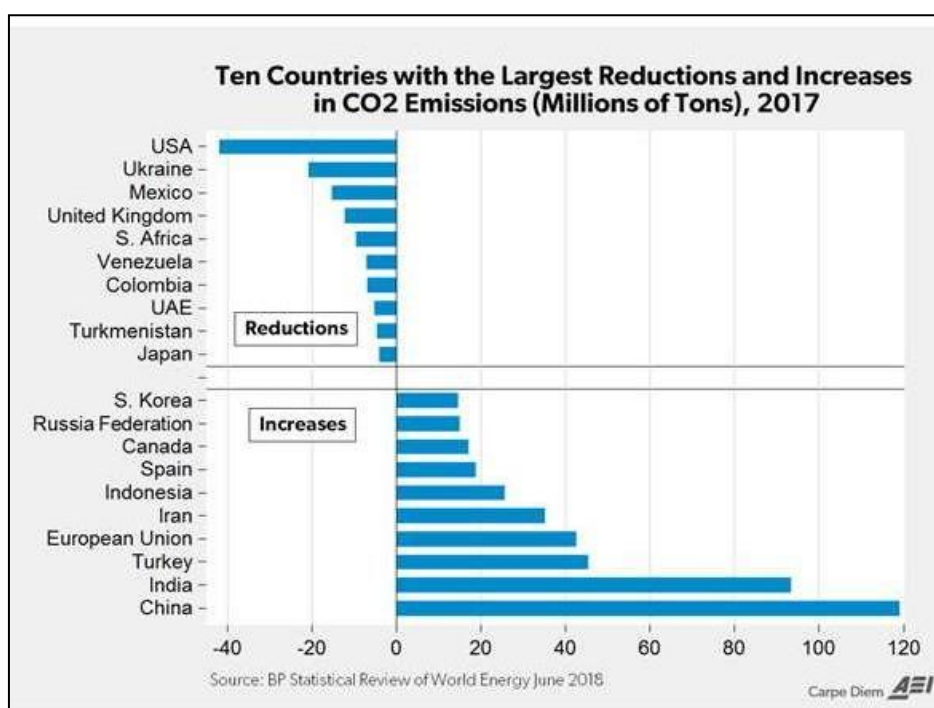
Cada país o nación debe desarrollar actividades que permitan la reducción de emisiones contaminantes al medio, además de lo anterior en el Protocolo de Kyoto se emitieron las recomendaciones que cada país debe adoptar para mitigar emisiones, reducir costos y hacer los procesos transparentes, los cuales se enumeran a continuación.

1. Mecanismo de desarrollo limpio (MDL): Su objetivo es que los países en desarrollo logren el crecimiento sostenible a partir de inversiones ambientales del gobierno de empresas de países industrializados. Es dirigido por las partes en el protocolo de Kyoto. (Schneider & Samaniego, 2009, p.21)
2. Implementación Conjunta (IC): inspirada en la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC) adoptada por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en junio de 1992. Su objetivo es estabilizar las

emisiones de los gases de efecto invernadero (gases de efecto invernadero), reduciendo sus efectos sobre el clima a nivel mundial. (Schneider & Samaniego, 2009, p.24)

3. El mercado minorista de compensación de emisiones: Esto básicamente se refiere a que aquel país que demuestre la reducción de gases de efecto invernadero tendrá una compensación económica (Schneider & Samaniego, 2009, p.26).

En el año 2017 las emisiones de Carbono aumentaron en 1,6 % (426,4 millones de toneladas), las disminuciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> fueron lideradas por estados unidos, Colombia fue el Séptimo país en disminuir CO<sub>2</sub>, el mayor aumento provino de China con 1,6% (119 toneladas) seguido por india con 93 millones de toneladas. (Mas libertad, 2018)



**Figura 2.** Emisión de CO<sub>2</sub> año 2017

**Fuente:** (Mas libertad, 2018)

## Contexto nacional

Rodríguez (2008) Indica que:

A mediados del siglo pasado en la casa de los empleadores de las bananeras se instalaron calentadores solares, por los años setenta varias universidades como la de Santander, la de los Andes, la Nacional entre otras instalaron calentadores solares domésticos. Hacia los años 80 se instalaron calentadores en diferentes lugares de Medellín y Bogotá incluso en la casa de Nariño, también se instalaron en varios lugares religiosos y en una cadena hotelera, para esta época también surgieron las primeras compañías que fabricaron y vendieron los calentadores. (p.2)

Finalizando los años 80 se instalaron los primeros calentadores en la costa Atlántica también surgieron las normas ICONTEC para calentadores.

Para esa época la inversión en los calentadores solares era medianamente alta y aunque el banco hipotecario realizó un estudio en el que demostró que era más rentable que utilizar la electricidad, pero con la aparición del gas natural a finales de los años 90 fue relegada la industria de calentadores solares hasta la fecha. Según afirma Rodríguez (2008):

El desarrollo alcanzado hasta 1996 indicaba que se habían instalado 48 901 m<sup>2</sup> de calentadores solares, principalmente en Medellín y Bogotá, y en barrios con financiación del Banco Central Hipotecario. No se han realizado nuevos estudios o evaluaciones sobre cómo se han comportado los sistemas instalados, aunque se sabe, por ejemplo, que el calentador de la antigua sede de la Empresa de Energía de Bogotá lleva más de 25 años suministrando agua caliente. Actualmente, la industria de calentadores solares en el país sigue deprimida a la espera de una nueva crisis de energía. (p.3)

En cuanto a los sistemas fotovoltaicos en Colombia sus comienzos se dieron a finales de los años 80 y enfocados al área rural debido a que en estas zonas el uso de plantas eléctricas aumentaba los costos por su operación y el uso de combustible. Fue Telecom quien instalo pequeños generadores fotovoltaicos los cuales fueron utilizados para los radioteléfonos rurales y más adelante con la instalación de generadores más grandes se utilizaron para antenas satelitales terrestres, varias empresas empezaron a utilizar sistemas solares para diversas actividades diarias por ejemplo repetidoras de microondas. En el sector rural se implementaron programas de electrificación para proveer iluminación, sistema de televisión y radial a los campesinos.

Entre 1985 y 1994 se importaron 48 499 módulos solares para una potencia de 2.05 MWp. De estos 21 238 módulos con una potencia de 843.6 kW en proyectos de telecomunicaciones y 20 829 módulos con 953.5 kWp en electrificación rural. El estudio anterior también indicó, sobre una muestra de 248 sistemas (con 419 módulos), que 56% de los sistemas funcionaban sin problemas, 37% funcionaban con algunos problemas y 8% estaban fuera de servicio. Como principal fuente de problemas se encontraron la falta de mínimo mantenimiento, suministro de partes de reemplazo (reguladores y lámparas) y sistemas sub-dimensionados. (Rodriguez, 2008, p. 4)

En Colombia el sistema fotovoltaico es un sistema autónomo el cual está compuesto por un panel solar, la batería que sirve para acumular la energía obtenida, y el controlador de la carga solar, no tiene conexión a redes eléctricas públicas, una de las variables que inciden en el sistema fotovoltaico es la radiación solar de la zona de instalación con respecto a esto la región caribe posee una gran ventaja ya que la radiación solar promedio 6,2 KWh/m<sup>2</sup>/día (Cantillo &

Conde, 2011, p.2); Colombia está entre el 58 y el 84 % de los máximos registrados comparado con los porcentajes mundiales (York castillo, 2014, p.46)

Los sistemas fotovoltaicos pueden aumentar la capacidad energética del país y así poder suplir el déficit eléctrico el cual según afirma (Ramirez, 2017) se encuentra alrededor del 32 % de Colombianos que no tienen servicio de energía, para el año 2017 la capacidad de energía eléctrica era de 16750,64MV, con una demanda de 71412 GWH, Colombia aumenta en 1 GW al año su capacidad fotovoltaica instalada. Con respecto a otros países Colombia no está utilizando la energía Fotovoltaica aun cuando cuenta con varias zonas en la que estos sistemas serían muy eficientes.

En Colombia los depósitos de hidrocarburos aún pueden satisfacer la demanda energética, esto no quiere decir que no se puedan acabar por el contrario a raíz de la gran demanda y que no es renovable ya se empieza a sentir las consecuencias por el desabastecimiento.

La principal fuente de obtención de energía en Colombia es a través de hidroeléctricas, la otra fuente es a través de combustibles fósiles, los cuales día a día se agotan. Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente el gobierno está invirtiendo en el desarrollo de tecnologías de producción de energía amigable con el medio ambiente y renovable, una de estas es la energía Fotovoltaica. (Antioquia, 2019)

Según la Unidad de Planeación Nacional Minero Energética (UPME), las energías renovables cubren actualmente cerca del 20% del consumo mundial de electricidad. (Antioquia, 2019)

La investigación, el desarrollo y la innovación en el ramo de celdas solares fotovoltaicas y sus aplicaciones, tiene cada vez un mayor interés e impacto en el ámbito internacional debido a sus bondades; un sistema que genera electricidad sin contaminar, no lleva componentes de fricción, es modular, silenciosa, y genera aun con luz difusa.

En Colombia, algunos proyectos importantes que se han dado son:

- Hospital Pablo Tobón en Medellín, hacia el año 1987 la caldera fue reemplazada por 345 m<sup>2</sup> de colectores solares de placa plana, con estos lograban calentar el agua a 45 °.
- El instituto Colombiano de Energía eléctrica instalo un sistema de 2.8 kWp logrando beneficiar con energía eléctrica a una comunidad apartada incluyendo una escuela ubicada en la zona.
- El oleoducto Caño Limón – Coveñas cuenta con un sistema fotovoltaico de 3.4 kWp que le suministrar energía eléctrica a zonas retiradas de sus centros de trabajo, esta energía es utilizada para poner en marcha los equipos de la empresa. (Rodriguez, 2008, p.5)
- Parque eólico Jepírachi en La Guajira, con una capacidad instalada de 19,5 MW de potencia nominal, con 15 aerogeneradores de 1,3 MW cada uno. (Mouthón, 2018)
- Construcción Granja solar en Santa Rosa, con una capacidad de generación de 8,06 MW, la que se estima generará 15.542 MWh-año. (Mouthón, 2018)
- Planta de energía solar en El Paso, Cesar, con capacidad de 86,2 MW. (Mouthón, 2018)

- Tecnoglass, que invirtió USD2,8 millones para una capacidad instalada de 2,47 Mwp y Promigas, con un sistema solar fotovoltaico para autogeneración de energía eléctrica de 23.014 kWh/mes. (Mouthón, 2018)
- Recientemente el Centro de Convenciones de Cartagena, instaló con Celsia, unos paneles solares para generar 514.165 kWh por año, con los que suplirá el 18% de la energía que consume. (Mouthón, 2018)

La zona del país líder en trabajar con energías alternativas es la Costa, este suceso se presenta debido a que tiene un alto potencial para el desarrollo este tipo de proyectos por ciertas características atmosféricas presentes en ella, recientemente la cadena de supermercados olímpica instaló 1168 paneles solares marca Panasonic con potencia de 669 kilovatios, según (Guevara, 2018) la empresa informó que la red generará 563,4 megavatios –hora MWh durante su primer año, esto representa de un 25% a 35% del consumo total del almacén, por lo tanto dejara de emitir 114.000 kg de CO2 al año.

Un análisis de EY para la Asociación de Energías Renovables (SER) indica que el mayor potencial del recurso eólico, se concentra en la región Caribe y específicamente en La Guajira. “En el caso específico de La Guajira los vientos son considerados como de los mejores en Sur América”, indica el estudio. (Mouthón, 2018)

Actualmente las fuentes de energías no convencionales tienen un 1% en la matriz energética del país, pero de acuerdo con la UMPE puede llegar al 16% en 10 años.

El exministro de Minas y Energía, Amylkar Acosta, asegura que Colombia está urgida de diversificar su matriz energética debido a la vulnerabilidad que significa depender en más del 70% de fuentes de generación hidráulica, bajo la amenaza del fenómeno de El Niño, “el cual cada vez es más frecuente e intenso, así como de mayor duración, exponiéndonos al riesgo de un racionamiento de suministro de energía como el que estuvimos a punto de registrar en 2015”, indica. (Mouthón, 2018).

**Energía renovable:** este tipo de energía la obtenemos de los recursos naturales interminables como el sol, el agua y el viento, puede ser por que existen en gran cantidad o porque tienen la facultad de renovarse de forma natural. Este tipo de energía es la mejor opción para el planeta debido a su baja generación de desechos. (Celsia, 2018)

Investigaciones realizadas por la empresa Acciona dan cuenta de que el sol cada hora emite en forma de luz y calor la energía necesaria para suplir las necesidades anuales del planeta entero. Para la Unión de Científicos Preocupados por el planeta las reservas de la energía proveniente restos fósiles puede ser suplida por la radiación solar en tan solo 18 días. (Celsia, 2018)

Las energías renovables son interminables por la acción del ser humano, quien las genera a todas es el sol por la disparidad de calor se originan los vientos, estos a su vez por medio de los molinos generan la energía eólica, por acción del sol se da el ciclo del agua y esta origina la energía hidráulica. La biomasa proviene del material vegetal las cuales provienen de las plantas luego de tomar la energía del sol, para realizar su fotosíntesis. La energía térmica y fotovoltaica se obtiene directamente del sol.

Ventajas de la energía renovable de acuerdo con (solar, 2018):



- Amigables con el medio ambiente, no contaminan y generan menos riesgos para la salud
- Son fáciles de dismantelar y fácil disponer sus residuos
- Se pueden obtener beneficios energéticos sin la necesidad de agotar recursos.

De acuerdo con (solar, 2018) La energía renovable se puede utilizar para generar electricidad pero también se puede aprovechar en otras aplicaciones. A continuación, algunos ejemplos de energía renovable:

- Paneles de energía solar fotovoltaica.
- Instalaciones de energía solar térmica para calefacción.
- Climatización de piscinas mediante energía solar.
- Centros termales mediante la energía geotérmica.
- Sistemas de calefacción mediante pozos geotérmicos.
- Parques eólicos.
- Energía hidráulica en pantanos.
- Embarcaciones a vela.

El vuelo de planeadores y parapentes sin motor, que aprovechan las corrientes ascendentes de aire.

Las energías renovables se clasifican según el recurso que las genere o de los cuales se aprovechen.

### **Energía Fotovoltaica:** Según Mendez & Cuervo (2007):

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y, por tanto, inagotable, limpia y se puede aprovechar en el mismo lugar en el que se produce. (p.15)

Esta energía se obtiene de la radiación solar a través de un semiconductor denominado célula fotovoltaica.

Para obtener la energía solar y poder transformarla en electricidad hay sistemas con y sin conexión a la red, los cuales se describen a continuación.

Sistemas autónomos: cuentan con un sistema de captación solar, baterías para almacenar en corriente continua la energía que se generó y un sistema de control para el buen funcionamiento de las baterías. Estos sistemas se usan en zonas rurales.

Sistemas conectados a la red: no poseen sistema para almacenamiento, solo cuentan con sistema de captación y conversión de la energía continúa a alterna.



**Figura 3.** Aplicaciones de la energía solar Fotovoltaica

**Fuente:** (Montoya, 2011)

**Energía solar:** energía renovable o también llamada energía limpia, que el sol proporciona por efecto de la radiación electromagnética, de esta se obtiene energía eléctrica y calor. Cuando se genera electricidad a través de la energía emitida por la luz del sol se llama energía Fotovoltaica, este tipo de energía se obtiene a través de paneles solares fotovoltaicos los cuales están formados por celdas solares que transforman la luz en energía eléctrica. Cuando la

electricidad es producida por el calor del sol se llama termo solar la cual se obtiene ubicando paneles y espejos con un receptor en el que los rayos solares se concentran a temperaturas de hasta 1000 °C, el calor calienta un fluido que genera vapor y el vapor mueve una turbina que produce electricidad. (Acciona, s.f.)

De acuerdo con (Acciona, s.f.) Algunos beneficios de la energía solar son los siguientes:

- Es renovable
- Al ser una fuente de energía limpia no se generan gases dañinos hacia el ambiente, lo que es provechoso para el planeta ya que no aumenta la temperatura del mismo.

- Bajo costo de aprovechamiento
- Contribuye al desarrollo sostenible
- Reduce la explotación de recursos no renovables.

Usos comunes de la energía solar:

- Iluminación solar
- Calefacción
- Transportes impulsados por energía solar
- En tecnología
- Compañías suministradoras de electricidad
- Lugares remotos de difícil acceso
- Satélite solar
- Riego de plantaciones

**Panel solar o módulo solar:** es un dispositivo que obtiene la energía de la radiación solar para aprovecharla en forma de energía eléctrica.

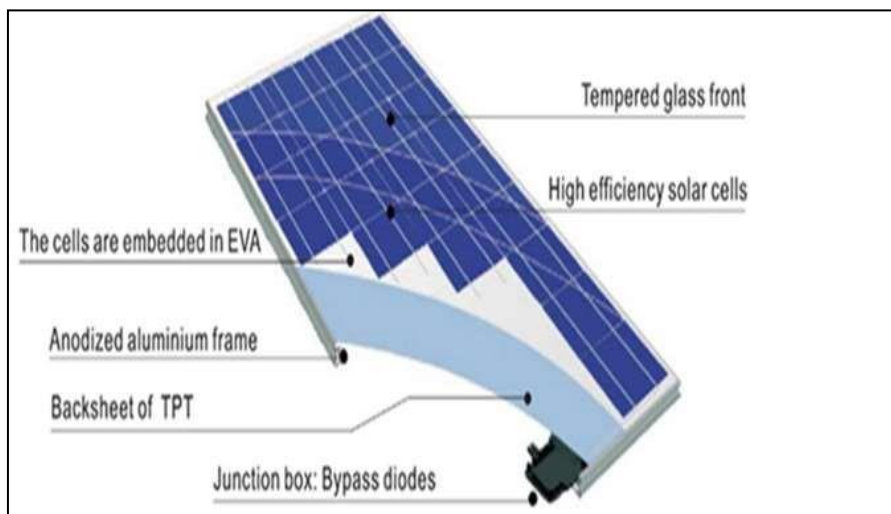
Un módulo solar lo conforma una celda solar dentro de la cual hay varias células solares fabricadas con silicio el cual es un semi conductor que toma la luz y la convierte en energía eléctrica.

La corriente eléctrica se origina por la diferencia de potencial que se produce en la célula solar la cual al recibir la luz forma una capa positiva y otra negativa.

La energía que genera la célula es almacenada en una batería que se conecta a los paneles.

Para generar la energía solar fotovoltaica se debe pasar el proceso que se describe a continuación los siguientes equipos:

- Panel solar: en estos las células fotovoltaicas convierten la luz del sol en energía continua durante el día.
- Inversor: es en este dónde la energía continua que se genera en los paneles es convertida en corriente alterna.
- Panel eléctrico: la corriente alterna pasa del inversor al tablero eléctrico para colocar en funcionamiento los aparatos eléctricos y alumbrados en las edificaciones.
- Medidor de utilidad: es el medidor del consumo de energía que instala el prestador del servicio, al generar energía durante el día este puede retroceder si se genera más de la que se necesita, pero se estabiliza por la noche al hacer uso de la misma. (Celsia, 2018)



**Figura 4** *Construcción de un modulo*

**Fuente:** (Alibaba.com, s.f.)

**Horas solares pico:** se puede definir como la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie, esta energía varía de acuerdo a la localización, entre más cerca al ecuador mayor es la energía y por su época del año, el sol en invierno no es lo mismo que de verano. La hora solar pico al multiplicarse por la potencia del panel indicara la cantidad de energía que genera una placa. (Efimarket, 2018)

**Huella de Carbono:** la huella de carbono mide el impacto que ocasionan hacia el ambiente los gases generados en las actividades diarias del ser humano.

Se mide como la cantidad de kilos o toneladas de CO<sub>2</sub> que se producen al día, de procesos industriales, personales o transporte. (Schneider & Samaniego, 2009, p.16)

El protocolo de gases de efecto invernadero establece tres ámbitos de emisiones según (Schneider & Samaniego, 2009, p.16-17):

**Ámbito 1:** emisiones directas, provenientes de fuentes propias o controladas por la empresa, como, por ejemplo, las derivadas de la quema de combustibles o debidas a procesos químicos.

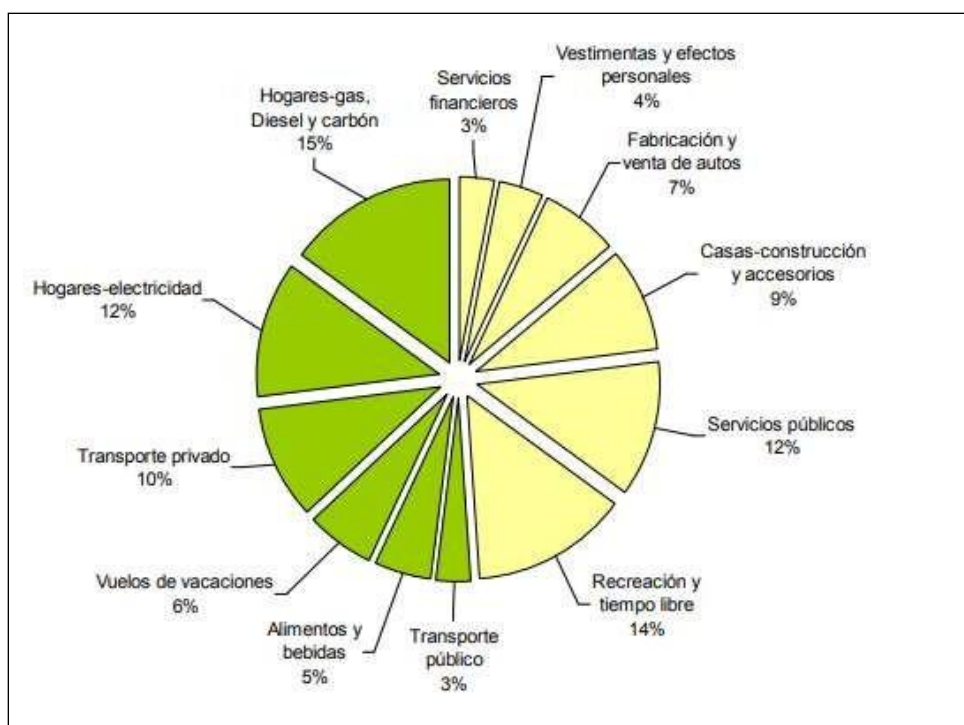
**Ámbito 2:** emisiones indirectas derivadas de la generación, por parte de terceros, de energía, calor o vapor.

**Ámbito 3:** otras emisiones indirectas que son consecuencia de las actividades de la organización que ocurren fuera de esta y no son controladas o generadas por ésta, como lo son los viajes, la gestión y disposición de residuos, la producción de insumos, etc.

La huella de carbono individual está conformada por la huella primaria y la secundaria representadas en color verde y amarillo respectivamente en la ilustración 1, donde se muestra la huella de carbono de un habitante de países desarrollados.

La **Huella primaria** es aquella que mide el CO<sub>2</sub> que se emite de forma directa hacia el ambiente, y que se originan al quemar derivados del carbón, transporte, energía doméstica, todo aquellos sobre lo que se tiene dominio principal.

La **Huella secundaria** mide las emisiones indirectas de CO<sub>2</sub> de todo el ciclo de vida de los productos consumidos, es decir son las emisiones que se generan en la producción de bienes y servicios. (Schneider & Samaniego, 2009, p.17)



**Figura 5.** Huella de Carbono de un habitante de países desarrollados

**Fuente:** (Schneider & Samaniego, 2009)

**Radiación solar:** Energía emanada por el sol y que es propagada al espacio por medio de ondas electromagnéticas y partículas.

La radiación solar se mide dividiendo la cantidad de energía que llega en una zona entre un lapso de tiempo. (IDEAM).

**Radiación directa:** los rayos del sol llegan de manera directa sin que haya cambios en la dirección.

Radiación difusa: es la que se presenta cuando los rayos solares se encuentran pequeñas partículas en su trayectoria y por lo tanto parte de esta energía se difunde en todas las direcciones, esta radiación varía de acuerdo a la altura del sol con respecto al horizonte, aumenta con la contaminación, aumenta con capas de nubes delgadas entre mayor sea la altura snm menor es la radiación difusa.

**Radiación global:** es la suma de las dos radiaciones inmediatamente definidas.

**Tabla 1.**

*Unidades de Radiación Solar.*

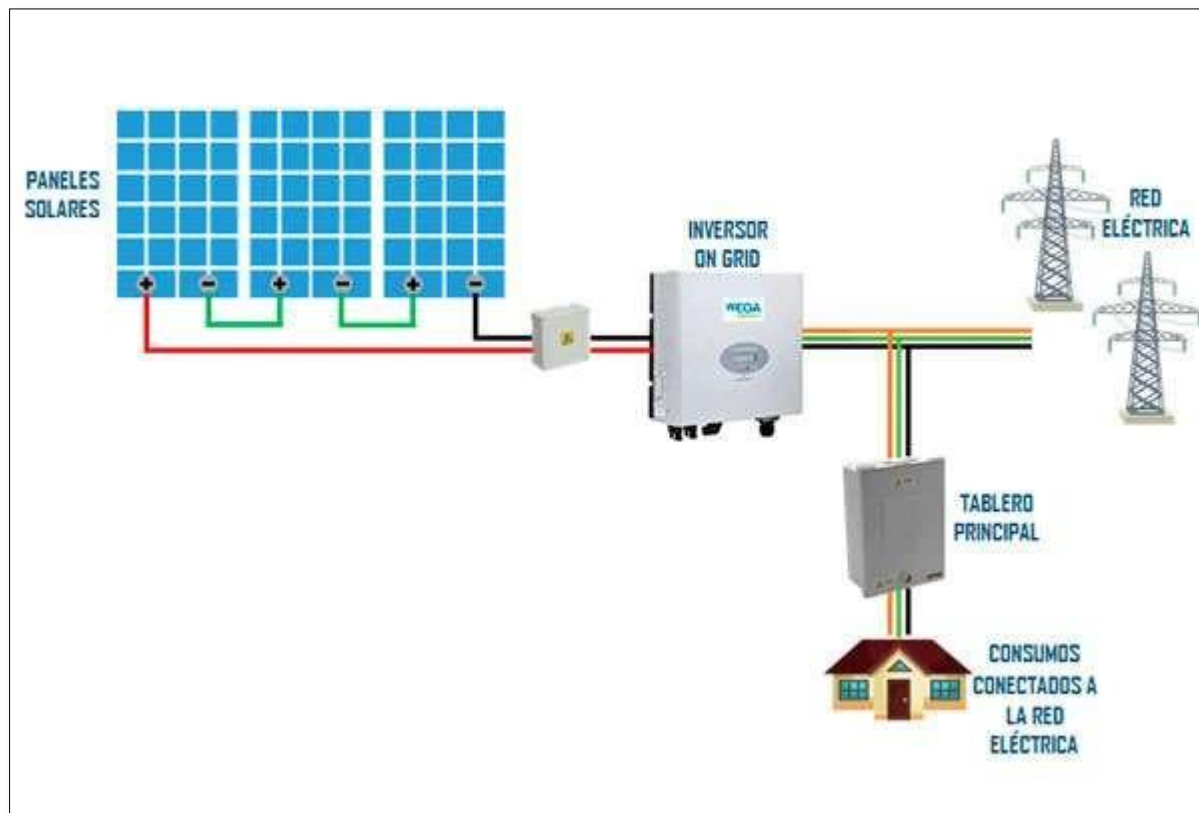
Magnitud	Explicación	Unidad	Símbolo
Irradiancia	La radiación que incide en un instante sobre una superficie determinada (potencia)	$W/m^2$	$I, E$
Irradiación	La radiación que incide que incide durante un periodo de tiempo sobre una superficie determinada (energía)	$Wh/m^2$ o $J/m^2$	H
Irradiancia espectral	Es la potencia radiante por unidad de área y de longitud de onda	$W/(m^2 - \mu m)$	$I_{\lambda}, E_{\lambda}$
Irradiancia directa	Radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar	$W/m^2$	$I_{dir}, E_{dir}$
Irradiancia difusa	Es la radiación procedente de toda la bóveda celeste excepto la procedente del disco solar	$W/m^2$	$I_{dif}, E_{dif}$
Irradiancia global	Se puede entender como la suma de la radiación directa y difusa. Es el total de la radiación que llega a un determinado lugar.	$W/m^2$	$I_g, E_g$

Irradiancia circumsolar	Es la parte de la radiación difusa procedente de las proximidades del disco solar	$\text{W/m}^2$	$I_{cir}, E_{cir}$
Radiación extraterrestre	Es la radiación que llega al exterior de la atmósfera terrestre. Solo varía con la distancia Tierra- Sol	$\text{W/m}^2_o$	$I_o, E_o$
		$\text{J/ m}^2$	$H_o$

**Fuente:** (Montoya, 2011)

**Sistema On -grid:** el sistema on-grid es el que está conectado directamente a la red eléctrica, la luz solar producida durante las horas de sol se consumen inmediatamente debido a que este sistema no cuenta con baterías para almacenar la energía. (Wega Lighting). Este tipo de sistema se puede utilizar en la ciudad en uso industrial, comercial, vivienda familiar, hospitales e instituciones educativas, no es útil para zona rural donde no se cuente con sistema eléctrico. Está compuesto por paneles solares, inversor de corriente, red eléctrica, tablero principal con medidor bidireccional para cuantificar la energía que se genera y la que se consume. (Ambiente soluciones)





**Figura 6 .Sistema On-grid**

Fuente: (Wega Lighting)

### **Marco conceptual**

**Energía Fotovoltaica:** La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y, por tanto, inagotable, limpia y se puede aprovechar en el mismo lugar en el que se produce. (Mendez & Cuervo, Energía solar fotovoltaica 2da Edición, 2007).

**Energía solar:** energía renovable o también llamada energía limpia, que el sol proporciona por efecto de la radiación electromagnética, de esta se obtiene energía eléctrica y calor.

**Energía renovable:** este tipo de energía la obtenemos de los recursos naturales interminables como el sol, el agua y el viento, puede ser por que existen en gran cantidad o porque tienen la facultad de renovarse de forma natural.

**Panel solar o módulo solar:** es un dispositivo que obtiene la energía de la radiación solar para aprovecharla en forma de energía eléctrica.

## Marco legal

**Tabla 2.**

*Marco legal*

<i>Norma</i>	<i>Artículo</i>	<i>Descripción</i>
Constitución política Colombiana de 1991	80 del Título II capítulo III de los derechos colectivos y del ambiente	El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
	339 del Título XII Capítulo II De los Planes de Desarrollo	Las entidades territoriales elaborarán y adoptarán de manera concertada entre ellas y el gobierno nacional, planes de desarrollo, con el objeto de asegurar el uso eficiente de sus recursos y el desempeño adecuado de las funciones que les hayan sido asignadas por la Constitución y la ley.
	365 Título XII Capítulo IV De la finalidad social del estado y de los servicios públicos	Los servicios públicos estarán sometidos al régimen jurídico que fije la ley, podrán ser prestados por el Estado, directa o indirectamente, por comunidades organizadas, o por particulares. En todo caso, el Estado mantendrá la regulación, el control y la vigilancia de dichos servicios.
Decreto 2119 de 1992	Título III Capítulo IV De la unidad de planeación minero energética 13, numeral 4	Evaluar la conveniencia económica y social del desarrollo de fuentes y usos energéticos no convencionales, así como el desarrollo de energía nuclear para usos pacíficos
Ley 143 de 1994	Capítulo I Principios generales 3	En relación con el servicio público de electricidad, al estado le corresponde asegurar la adecuada incorporación de los aspectos ambientales en la planeación y gestión de las actividades del sector
Ley 7ª de 1994	1	Por la cual el congreso aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992.
Ley 629 de 2000		Por medio del cual se aprueba el

Ley 697 de 2001				<p>Protocolo de Kioto Sobre el Cambio Climático</p> <p>Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía y se promueve la utilización de energías alternativas</p>
Ley 1151 de 2007	Título II Descripción de principales programas de inversión 6, sección infraestructura para desarrollo	Capítulo II de los programas de 3.6 el		<p>Se promoverán proyectos piloto de generación de energía eléctrica que estén soportados en la implementación de tecnologías que utilicen fuentes de energía alternativa.</p>
Proyecto de Ley 09 Senado				<p>Promover e incentivar el uso de paneles solares y paneles fotovoltaicos; y así obtener la reducción de consumos energéticos y la generación de energías no contaminantes.</p>
Resolución 180919 de junio de 2010				<p>Por la cual se adopta el Plan de Acción Indicativo 2010-2015 para desarrollar el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, PROURE, se definen sus objetivos, subprogramas y se adoptan otras disposiciones al respecto.</p>
Ley 1715 de 2014				<p>Promover el desarrollo y la utilización de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético nacional.</p>

---

## **Marco metodológico**

La metodología utilizada en este proyecto se fundamenta en la investigación descriptiva, a través de este tipo de investigación se puede describir la realidad de una comunidad, grupo o evento para su posterior análisis. (Universia, 2017, p.1).

En una investigación descriptiva se pueden identificar características, dimensiones, ángulos, variables que los pueden afectar, clasificación, conceptos entre otros atributos del fenómeno a investigar. Este tipo de investigación requiere de mucha información y de buena calidad para poder presentar de manera completa el objeto o fenómeno a investigar. (Rocha, 2015, p. 259)

### **Tipo de estudio**

El tipo de estudio utilizado es cuantitativo, a través de métodos de recolección de datos primarios, los cuales son obtenidos directamente por el investigador a través de la recolección con instrumentos propios. Y de datos secundarios los cuales se obtienen a través de información emitida por otras empresas. (Universidad de Alicante, p.1)

### **Alcance del proyecto**

El presente proyecto tiene como alcance el estudio y diseño del sistema de energía Fotovoltaico en la empresa Aje Colombia s.a, y a través de este determinar la viabilidad de instalación y puesta en marcha del sistema.

### **Fases del proyecto**

El proyecto se desarrolla en las siguientes fases:

#### **❖ Fase de planeación y diseño:**

- Identificación de la población a estudiar
- Diagnostico empresarial.

❖ Fase empírica:

- Investigación y recolección de datos.

❖ Fase analítica:

- Análisis de datos
- Interpretación de resultados.

❖ Fase de difusión:

- Comunicación de las observaciones
- Entrega del producto final.

## Fuentes de información

### Fuentes primarias

- Documentación de fuentes primarias
- Observación directa
- Entrevista

### Fuentes secundarias

- Recibos de energía
- Información entregada por la empresa Aje Colombia s.a en cuanto a consumos energéticos de los equipos.
- Información por parte de la empresa Celsia sobre el servicio a contratar.

Población objeto

Ubicación geográfica Aje Colombia s.a

El presente proyecto se identificará geográficamente en el municipio de Malambo donde se localiza el Parque Industrial Malambo y dentro de este la fábrica Aje Colombia S.A, con un área de 12000 m<sup>2</sup>, las coordenadas son 10°49'54" Norte 74°45'48" Oeste y se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 9 metros.



**Figura 7.** Ubicación geográfica Aje Colombia S.A

**Fuente:** Google Earth

Información general del municipio de Malambo

- Malambo tiene una extensión total de 108 km<sup>2</sup>, El área urbana tiene en la actualidad 2.460,47 ha que representan el 24,88 % de la superficie total del municipio.

- El Municipio de Malambo se localiza en la ribera occidental del río Magdalena y es uno de los cinco Municipios que conforman el área metropolitana de la ciudad de Barranquilla. Se ubica en la latitud: 10° 52' Norte y longitud 74° 47' Oeste.

- El municipio de Malambo limita al norte con el municipio de Soledad; por el este con el río Magdalena; por el oeste con los municipios de Galapa y Baranoa; por el sur con los municipios de Sabanagrande y Polonuevo. Se encuentra a una distancia de Barranquilla de 12 kilómetros hacia el norte, a partir de su lindero con Sabanagrande. Mesolandia es el barrio más cercano a la ciudad de Barranquilla. La vía vehicular más importante es la Carretera Oriental (Calle 30 de Barranquilla), la cual colinda con el río Magdalena.

- Malambo cuenta con una población de 191.726 habitantes.
- Territorialmente la población se distribuye de la siguiente manera: 184.057 (96% de la población) habitantes en el área urbana. 7.669 (3% de la población) en el área rural, en especial en los corregimientos del municipio: Caracolí, La Aguada, Caimital

El Parque Industrial Malambo S.A. -PIMSA- es un condominio industrial privado que cuenta con una completa infraestructura de servicios, orientados a garantizar reducciones en los costos a las empresas que se ubiquen en sus instalaciones. PIMSA está situado estratégicamente para la producción y exportación industrial, así como también para el almacenamiento y la distribución en el mercado nacional. A su vez, cuenta con capacidad para construir y arrendar infraestructura industrial y logística, procurando soluciones a la medida de las empresas.



## Muestra

El número total de personas que laboran en Aje Colombia s.a es de 120 incluidos contratistas fijos, esta será la muestra para este proyecto ya que el sistema beneficiara a toda la planta.

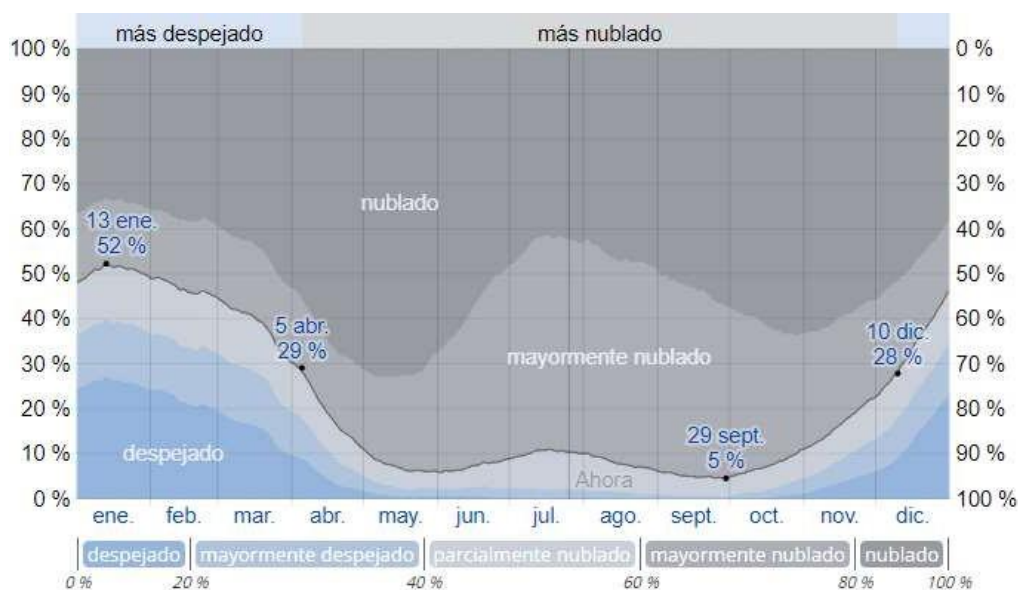
## Resultados y/ o propuesta de solución

### Diagnóstico Empresarial

Características Climatológicas de la zona en donde se encuentra ubicada la empresa

#### Nubosidad

El porcentaje de nubosidad en Malambo varia durante todo el año, del 10 de diciembre al 5 de abril se presenta la menor nubosidad y del 5 de abril al 10 de diciembre se presenta la mayor nubosidad de la zona, en ese lapso de tiempo la nubosidad es hasta de un 95% . (Weather Spark)



**Figura 8.** Categorías de nubosidad

Fuente: (Weather Spark)

## Temperatura

La temperatura en Malambo varía entre 24 °C a 33° C, por lo general no baja de 23 °C o no sube de 35° C, la temporada calurosa va del 2 de abril al 7 de julio y la temporada fresca va del 7 de diciembre al 21 de febrero.



**Figura 9.** Temperatura máxima y mínima promedio

Fuente: (Weather Spark)

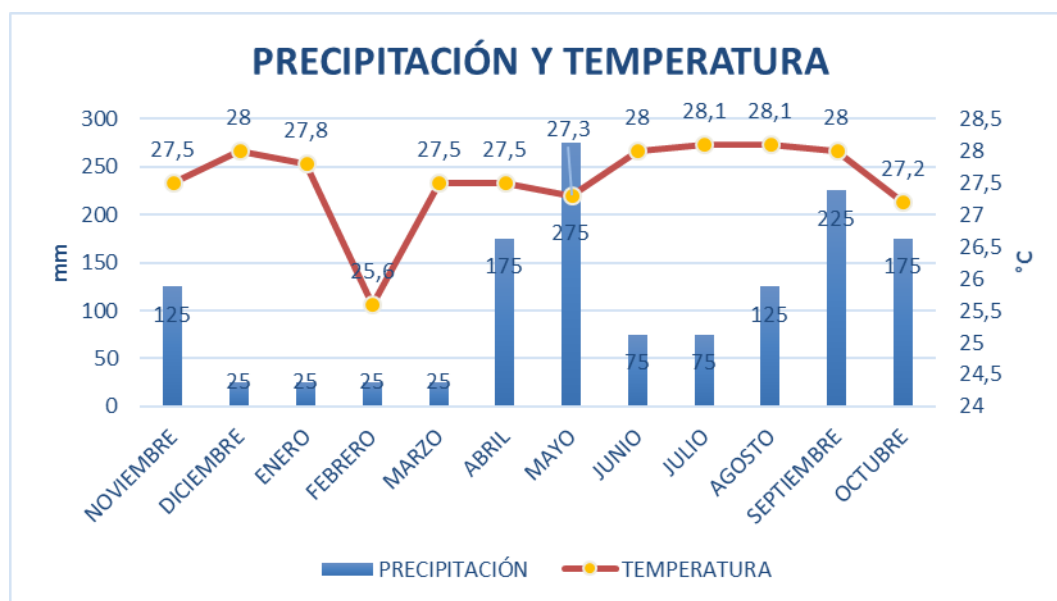
## Precipitación

Malambo presenta una temporada mojada desde el 9 de mayo al 19 de noviembre, con probabilidad de más del 24 % de tener un día mojado, por su parte la temporada seca va del 19 de noviembre al 9 de mayo con una probabilidad de presentarse un día mojado del 1%.



**Figura 10.** Probabilidad diaria de precipitación

Fuente: (Weather Spark)



**Figura 11.** Precipitación y temperatura

Fuente: IDEAM

La temperatura del sitio de ubicación de los paneles es importante conocerla, ya que la eficiencia energetica de los paneles varia de acuerdo a la temperatura del sitio de ubicación, como se observa en la grafica la temperatura de la zona se mantiene estable durante todo el año solo se presenta un pico en Febrero; con respecto a la precipitación es muy importante conocer este dato pues este permite determinar el comportamiento de la nubosidad lo que afecta directamente la cantidad de brillo y radiación solar que llega al sitio.

### Lluvia

El periodo lluvioso va del 10 de abril al 22 de diciembre, la mayor parte de la lluvia cae en el mes de octubre, el periodo sin lluvia va desde el 22 de diciembre al 10 de abril.

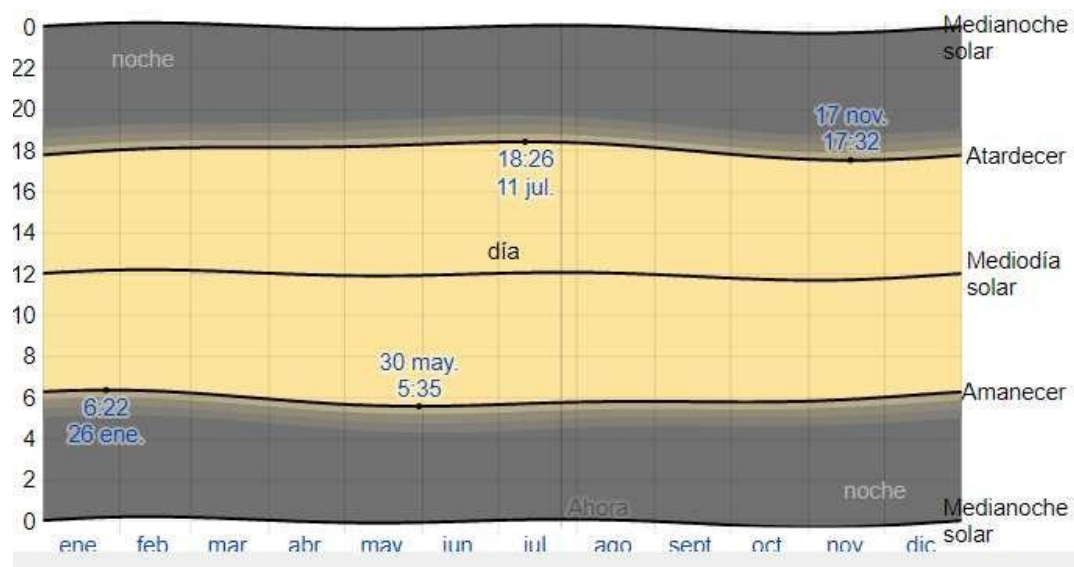


**Figura 12.** Precipitación de lluvia mensual

Fuente: (Weather Spark)

### Sol

La duración del día en Malambo no varía considerablemente durante el año, solamente varía 45 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2019, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 29 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 12 horas y 46 minutos de luz natural.



**Figura 13.** Salida y puesta del sol

Fuente: (Weather Spark)

### Humedad

El nivel de humedad percibido en Malambo, medido por el porcentaje de tiempo en el cual el nivel de comodidad de humedad es bochornoso, opresivo o insoportable, no varía considerablemente durante el año, y permanece prácticamente constante en 100 %.



**Figura 14.** Niveles de comodidad de la humedad

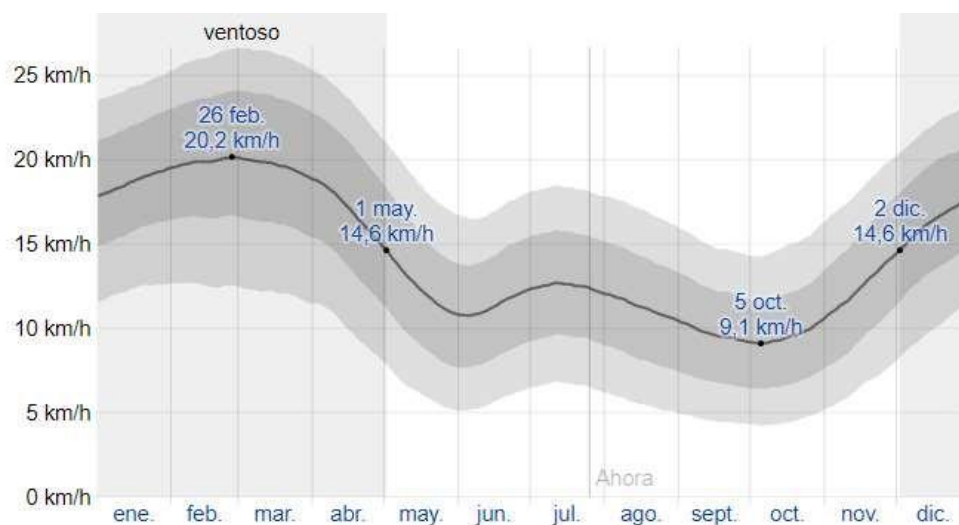
Fuente: (Weather Spark)

## Viento

La velocidad promedio del viento por hora en Malambo tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año va del 2 de diciembre al 1 de mayo, con velocidades promedio del viento de más de 14,6 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año va del 1 de mayo al 2 de diciembre.

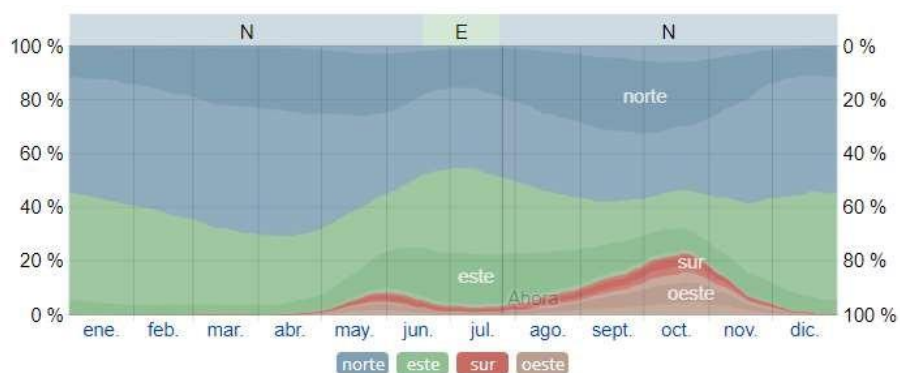


**Figura 15.** Velocidad promedio del viento

Fuente: (Weather Spark)

La dirección predominante promedio por hora del viento en Malambo varía durante el año.

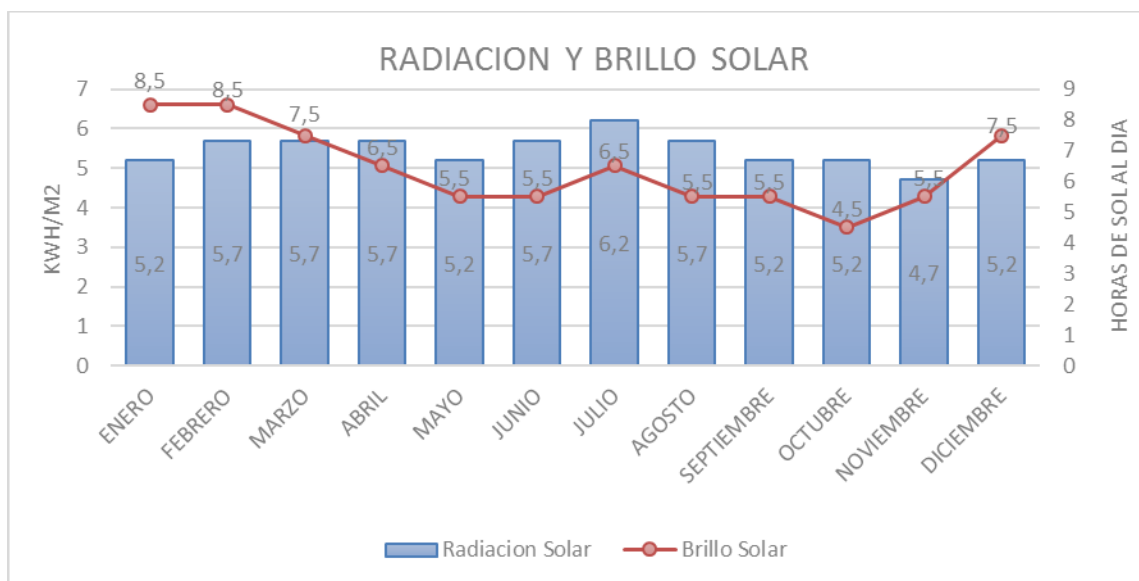
El viento con más frecuencia viene del este, del 18 de junio al 24 de julio, con un porcentaje máximo del 52 % en 11 de julio. El viento con más frecuencia viene del norte, del 24 de julio al 18 de junio, con un porcentaje máximo del 55 % en 1 de enero.



**Figura 16.** Dirección del viento

**Fuente:** (Weather Spark)

Radiación solar y brillo



**Figura 17.** Radiación y Brillo solar

**Fuente:** IDEAM

De acuerdo con los datos obtenidos y graficados se determina que parametros de radiación y brillo solar no son directamente proporcionales ya que mientras la radiación solar se mantiene constante durante todo el año, el brillo solar por su parte altibajos, también se debe destacar que el peor mes para radiación es Noviembre mientras que para brillo solar es Octubre, todo lo anterior debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar el sistema Fotovoltaico.

## Balance de energía

La planta de producción para su proceso productivo cuenta, tal como se visualiza en la Figura 9, con dos subestaciones eléctricas las cuales suministran la energía necesaria para el funcionamiento de cada uno de los equipos y herramientas, el consumo total nominal necesario para suplir el proceso es de 3836 kw/h. Teniendo en cuenta lo anterior el sistema que se va a instalar debe poder suplir esta necesidad de energía.

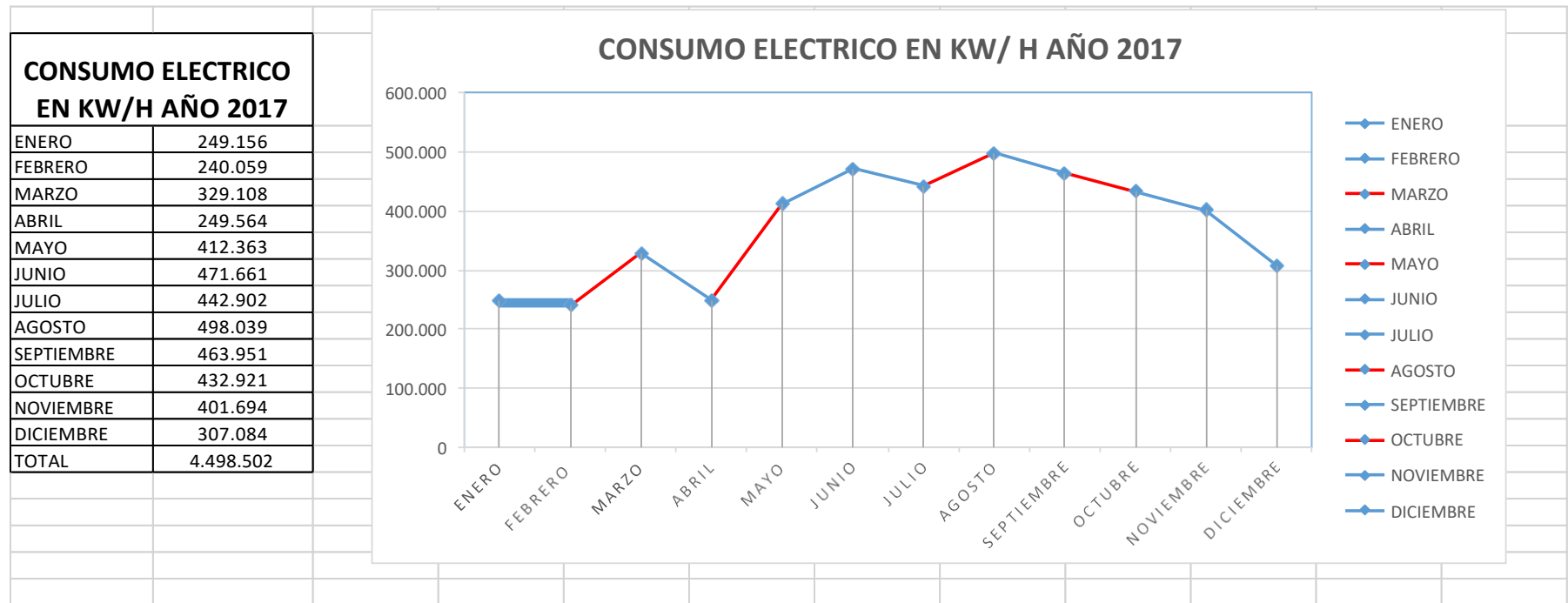


BALANCE ENERGIA ELECTRICA MALAMBO												
	FACTOR DE POTENCIA		0,9									
SUBESTACION 1 - KVA		2500	KW POR CONSUMO	KVA POR CONSUMO		Kw PROYECTADOS	KVA PROYECTADOS	DISPONIBLE KVA	DISPONIBLE kW	COMENTAR IOS	KW POR PLACA	KVA POR PLACA
COMPRESOR AIRE DE ALTA 1			460	511	1	460	511				575	638,9
LINEA EMBOTELLADO			210	233	1	210	233				340	377,8
PLANTA DE AGUAS			10	11	1	10	11				100	111,1
SALA DE JARABES			40	44	1	40	44				40	44,4
TORRE REYMSA			42	47	1	42	47				45	50,0
COMPRESORES DE BAJA			400	444	1	400	444				400	444,4
SISTEMA DE REFRIGERACION			375	417	1	375	417				375	416,7
TRANSFORMADOR 300KVA 440/220VAC			270	300	1	270	300				300	333,3
AGUA BOLSA			0	0	1	0	0				14	15,6
TOTAL			1807	2008	1	1807	2008	492	443		2189	2432
SUBESTACION 2 - KVA		3000	KW POR CONSUMO	KVA POR CONSUMO		Kw PROYECTADOS	KVA PROYECTADOS	DISPONIBLE KVA	DISPONIBLE kW	COMENTAR IOS	KW POR PLACA	KVA POR PLACA
COMPRESOR AIRE DE ALTA 2			460	511	1	460	511				369	410,0
EMBOTELLADO L-2			180	200	1	180	200				317	352,2
SALA DE JARABES			80	89	1	80	89				560	622,2
TORRE DE ENFRIAMIENTO			80	89	1	80	89				200	222,2
CALDERA				0	1	0	0				201	223,3
SISTEMA REFRIGERACION PASTEURIZADOR NO REGENERATIVO				0	1	0	0					0,0
TOTAL			800	889	1	800	889	2111	1900		1647	1830
TOTAL ACTUAL						2008						
CONSUMO TOTAL EN kw/h						3836	0	3836				
01 (KVA) %		19,7%	SUB 02 (KVA) %		-27,9%	-27,9%						

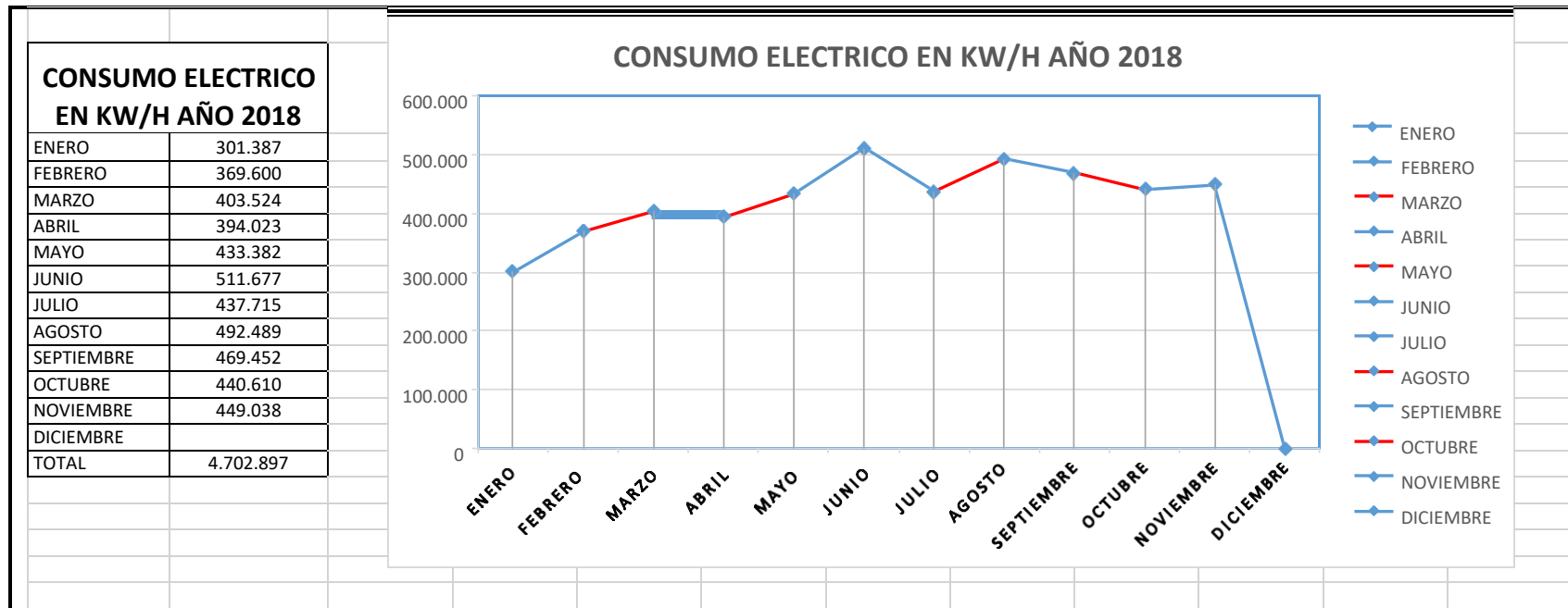
**Figura 18.** Balance de energía eléctrica Malambo

**Fuente:** Aje Colombia S.A

## Consumo histórico mensual 2017

**Figura 19.** Consumo eléctrico año 2017**Fuente:** Aje Colombia S.A

## Consumo histórico mensual 2018



*Figura 20. Consumo eléctrico año 2018*

**Fuente:** Aje Colombia S.A

Al comparar el año 2017 vs 2018 se puede evidenciar que el consumo energético tiene una tendencia positiva y la proyección para el 2019 es que esta tendencia continúe aumentando, a medida que la demanda aumente, lo que hace suponer que los costos en la producción por concepto de uso de energía se incrementen, lo que hace que la gerencia de Aje Colombia deba establecer mecanismos de control que le permitan generar ahorros en este servicio sin que se vea afectado su negocio y así poder seguir siendo competitivos a nivel nacional.

#### Huella de carbono de la planta de producción

Utilizando la herramienta de internet llamada cero CO2 para el cálculo de emisiones de GEI en la cual se ingresa los datos de consumo de energía, se determinó que las toneladas de Carbono emitidas por la planta para el año 2017 fue de 1664.4457 y hasta noviembre de 2018 van 150.9219 Tn Co2. Uno de los objetivos de la instalación de paneles solares es poder disminuir la huella de carbono de la planta para lo cual se tiene como referencia los datos suministrados en este ítem.

#### Sistema eléctrico actual de Aje Colombia S.A

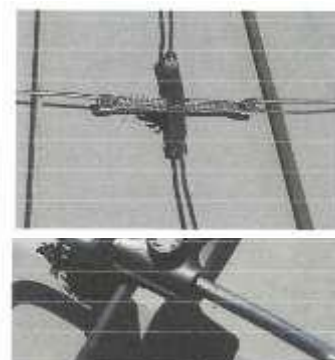
- Se evidencia en sitio la existencia de un sistema de puesta a tierra.



- La planta

AJE Colombia cuenta con sistema de

apantallamiento





KVA entre las dos

- La planta posee dos subestaciones eléctricas de 5500



- Se evidencia espacio para ubicación de tablero de interconexión e inversores

#### Sistema estructural de Aje Colombia S.A

- Al realizar la evaluación de la estructura se evidencia que la estructura de cubierta, vigas y columnas se encuentran dentro de límites de resistencia, mientras que las correas PHR-Z-305 X2mm de apoyo de las cubiertas no poseen la capacidad para soportar las cargas adicionales que generara el sistema a instalar debido a que NO presenta elementos con secciones que se ajustan a el reglamento vigente Sismo-Resistente NSR 10.
- La estructura no cuenta con sistema para trabajo seguro en alturas ni líneas de vida ni puntos de anclaje.
- La edificación y estructura cumple con la norma sismo resistente vigente al momento de la construcción.

### Diseño de la alternativa propuesta Implementación de sistema fotovoltaico de la empresa

Cálculos necesarios para la ubicación del sistema

Calculo de orientación e inclinación

Para este cálculo es necesario conocer la latitud y longitud del sitio donde se ubicará el sistema:

Latitud: 10°49'54" Norte

Longitud: 74°45'48" Oeste

Colombia se encuentra ubicada en una zona privilegiada del trópico ya que está en el hemisferio norte o por encima del Ecuador, lo que hace que el sol no tenga mayor variación en su posición durante todo el año por lo que la luminiscencia es constante durante todo el año, en el caso de la costa es la región que posee las mayores radiaciones solares en el país, esto debido a que el terreno montañoso y escarpado es bajo lo que le permite al viento proveniente del mar Caribe fluir libremente lo que genera baja nubosidad durante todo el año, otro aspecto es que su terreno es de baja vegetación por lo que la humedad relativa es baja lo que reduce la posibilidad de precipitaciones en el año.

De acuerdo con los datos de longitud y latitud se decide que los módulos deben ser ubicados al sur a 0°.

#### **Tabla 3.**

*Ángulos de inclinación para los módulos*

Latitud del lugar	Angulo de inclinación del modulo
0° a 15°	15°
15 ° a 25°	El mismo de la latitud
25 ° a 30°	Latitud + 5°
30 ° a 35°	Latitud + 10°
35 ° a 40°	Latitud + 15°
Mayor de 40 °	Latitud + 20°

**Fuente:** Instalaciones solares fotovoltaicas (Roldan, 2010)

Para el caso de la inclinación y teniendo en cuenta la tabla anterior los paneles deben ubicarse a  $15^\circ$ , con esto el sistema se hace más eficaz.

#### Disponibilidad del recurso solar

Para determinar la disponibilidad del recurso solar se debe tener en cuenta los datos de radiación y brillo solar descritos anteriormente, de acuerdo con estos datos se debe tener en cuenta el peor mes del año, en este caso para la zona de estudio, noviembre que corresponde al consumo de la planta  $4,7\text{kwh/m}^2$ .

#### Calculo de horas solares pico HSP

Horas solares pico (HSP)

$$HSP(h) = k * (kWh/m^2)$$

K: equivale según el anexo 1 para el mes de noviembre con inclinación de  $15^\circ$  y latitud  $10^\circ$  a 1,09

Noviembre tiene un valor de  $4,7\text{kwh/m}^2$

Entonces:

$$HSP(\text{Nov}) = (1,09) * 4,7\text{kwh/m}^2$$

$$HSP(\text{Nov}) = 5,12 \text{ h}$$

#### Factor de perdidas

El factor de pérdidas nos ayuda a evaluar el estado funcional al momento del diseño del sistema, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$PR(\%) = (100 - A - P_{\text{temp}}) \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F$$

Donde:

$$A = A1 + A2 + A3 + A4$$

A1: indica dispersión de parámetros entre módulos así:

- 10 % dispersión elevada
- 5% valor adecuado
- < 5% campo solar optimo

A2: polución en los paneles por agentes cercanos como el polvo:

- 1% zona de baja polución
- 8% zona de alta polución

A3: resistencia al flujo magnético, hay mayor pérdida si la capa del módulo es reflexiva, las perdidas varían entre el 3 y 6%.

A4: Factor de sombras

- 1% baja presencia de sombras
- 10% alta presencia de sombras

Reemplazando se obtiene:

$$A = A1 + A2 + A3 + A4$$

$$A = 5\% + 3\% + 3\% + 1\%$$

$$A = 12\%$$

**Ptem:** son las pérdidas por temperatura que afectan los paneles solares medidas anualmente.

La fórmula para obtenerla es la siguiente

$$Ptemp (\%) = 100 [1 - 0,0035.(Tc - 25)]$$

Para encontrar Ptemp primero se halla Tc, donde **Tc** es la temperatura a la cual trabajan los paneles:

$$TC = Tamb + (TONC - 20) \frac{E}{800}$$



Donde:

TONC temperatura a la que opera el panel

E es la radiación solar y se expresa en Wh/m<sup>2</sup>, para el caso de estudio se ha tomado el peor escenario correspondiente al mes de noviembre 4200 Wh/m<sup>2</sup>.

Tamb hace referencia a la temperatura del área en la que se realizara la instalación del sistema.

$$TC = Tamb + (TONC - 20) \frac{E}{800}$$

$$TC = 28^{\circ}C + (45^{\circ}C - 20) \frac{4200Wh/m^2}{800}$$

$$TC = 159.25^{\circ}C$$

Con este valor entonces ahora se halla:

$$Ptemp (\%) = 100 [1 - 0,0035 \cdot (159.25^{\circ}C - 25)]$$

$$Ptemp = 53.01 \%$$

**B** son las pérdidas que se dan en el cableado de la corriente continua, entre el panel y el inversor.

$$B = 1 - (cc)$$

El máximo valor que puede tener (cc) es 1,5% y el valor mínimo de B va a ser 0,985, entonces:

$$B = 1 - (cc)$$

$$B = 1 - 1.5\%$$

$$B = 0,985$$

**C** son las pérdidas que se dan en el cableado de la corriente alterna, esta se da después del inversor.

$$C = 1 - (ca)$$

El máximo valor que puede tener (*ca*) es 2%, se recomienda utilizar el 0.5%, por lo tanto, el valor de *C* va a estar entre 0,980 y 0.995.

$$C = 1 - (ca)$$

$$C = 1 - 0.5\%$$

$$C = 0,995$$

**D** son las pérdidas por disponibilidad de la instalación, por ejemplo, paro en el funcionamiento de la red, mantenimiento, etc.

$$D = (1 - Ldisp)$$

Para *Ldisp* el valor recomendado es de 5%, siendo así *D* tendrá un valor de 0,95

$$D = 1 - Ldisp$$

$$D = 1 - 5\%$$

$$D = 0,95$$

**E** hace referencia a la eficiencia del inversor, se debe tener en cuenta los valores de rendimiento y potencia del inversor que se van a utilizar.

**Tabla 4.**

Eficiencia del inversor

Rango de la potencia nominal	Inversor menor de 5Kw	Inversor mayor de 5Kw
25%	0,85	0,90
100%	0.88	0,92

**Fuente:** Energía Solar Fotovoltaica (Mendez & Cuervo, Energía Solar Fotovoltaica, 2007)

La potencia nominal con la que trabaja el inversor propuesto para este proyecto es de 50 kw, valor tomado del anexo 2 de este documento, este valor es mayor de 5kW y posee una eficiencia de 96.2%.

De a la información anterior y correlacionando con los datos de la tabla 2 se determina que el valor de **E** es de 0,92.

**F** corresponde a las pérdidas que se presentan al no realizar vigilancia del punto de máxima potencia (PMP), estas pérdidas están entre el 5% y el 10%, se trabaja con un 8%.

$$F = (1 - L_{pmp})$$

$$F = (1 - 8\%)$$

$$F = 0.92$$

$$PR (\%) = (100 - 12\% - 53.01\%) \cdot 0.985 \cdot 0.995 \cdot 0.95 \cdot 0.92 \cdot 0.92$$

$$PR = 78, 29\%$$

78.29% es el porcentaje de pérdidas se estima tenga este sistema

Número de paneles

$$Nt = \frac{Et}{HSP * Wp * PR}$$

Dónde:

Nt = número total de paneles

Et= energía total consumida por día (W/h)

HPS= Irradiación global en plano inclinado  $\beta$  Para la condición más desfavorable

Wp= potencia pico del panel

Para hallar el número de paneles se necesita el dato de energía total consumida la cual se obtiene de la siguiente manera

$$E_{consumida (fs)} = E_{consumida} * Factor_{simultaneidad}$$

$$E_{consumida (fs)} = 3836 \text{ kwh} * 60\%$$

$$E_{consumida (fs)} = 2301 \text{ kwh/día}$$

$$Nt = \frac{Et}{HSP.WP.PR}$$

$$Nt = \frac{2301 \text{ Kwh/día}}{5.12h * 400W * 78.29\%}$$

$$Nt = 1440 \text{ paneles}$$

Luego de realizados los cálculos se determina que son necesarios 1440 unidades de paneles solares para poder dar abasto a la energía consumida de la planta, los cálculos se basan en el peor escenario de horas pico.

## Inversor

El inversor es un dispositivo esencial para el sistema ya que este se encarga de transformar la corriente continua que se está generando en corriente alterna para poder ingresarla a la red eléctrica tradicional.

Los inversores se clasifican de acuerdo a la red a la que se dese conectar por lo que los encontramos trifásicos y monofásicos.

En la planta hay dos posibles lugares donde se pueden ubicar los inversores, uno es la cubierta inferior por donde se accede a la cubierta principal se cuenta con acceso, la segunda opción es ubicar los inversores en la cubierta del cuarto eléctrico pero este sitio no cuenta con acceso.

#### Área de ubicación

Tipo de cubierta TST -Sándwich

Área disponible 7738.06 m<sup>2</sup>

Área ocupada por los paneles 2473 m<sup>2</sup>, los techos deben tener la capacidad para soportar el peso de los paneles solares equivalente a 18 Kg/m<sup>2</sup> aproximadamente y cumplir con el Reglamento de construcción sismo resistente NSR-10.



**Figura 21.** Cubierta Planta

**Fuente:** (Celsia, 2018)

### Análisis de viabilidad de la propuesta

Costo de la ubicación del sistema solar fotovoltaico

**Tabla 5**

*Costo del sistema solar fotovoltaico*

Años de contrato	15	20	25
Instalación para trabajo seguro en alturas	\$ 80.683.000	\$ 80.683.000	\$ 80.683.000
Adecuaciones civiles	\$ 293.000.000	\$ 293.000.000	\$ 293.000.000
\$/kWh	\$ 259	\$ 252	\$ 249
Flujo de caja	\$ 35.080.178	\$38.535.520	\$ 40.184.779
Años de pago de inversión en TSA´s bruto	10,7	9,7	9,3

**Fuente:** (Celsia, 2018)

El costo de la ubicación corre por cuenta de la empresa Celsia pero teniendo en cuenta que se deben hacer una adecuaciones civiles para que la cubierta pueda soportar el peso de los paneles e instalar los sistemas para trabajo seguro en alturas la empresa debe hacer una inversión \$ 373.683.000 el cual tiene un periodo de retorno de la inversión de 6 meses.

Aje Colombia S.A no invertirá en el mantenimiento, seguimiento y control del sistema ya que esto estará a cargo de la empresa EPSA- Celsia , con el fin de garantizar el suministro durante el tiempo que dure el contrato. Para esto cuenta con los planes de mantenimiento adecuados y será responsabilidad de ellos el cumplimiento al 100%, entregando un resultado de eficiencia sobre el 90 %.



**Figura 22.** Planos sobre el diseño a implementar

**Fuente:** (Celsia, 2018)

### Interpretación de resultados.

#### Costo vs beneficios

Teniendo en cuenta que el kw de energía eléctrica convencional tiene un costo de \$362 y que el ofertado por el proveedor para energía solar es de \$ 259 se hace una evaluación del costo utilizando el 17% de energía alternativa que es lo que según el proveedor se podría obtener de los paneles vs el costo del 100% de la energía convencional obteniendo como resultado un ahorro anual de \$ 82.347.726. (Datos basados en el consumo real de planta durante los primeros 11 meses del 2018, suponiendo un aporte de energía solar del 17% al 25%)

**Tabla 6***Consumo eléctrico y ahorro*

MES	CONSUMO TOTAL KW/H MES	COSTO KW/H COP \$	COSTO TOTAL COP	CONSUMO DE ENERGIA SOLAR (17% COSUMO TOTAL)	COSTO ENERGIA KW/H COP ENERGIA SOLAR	COSTO DEJADO DE CONSUMIR CON ENERGIA CONVENCIONAL \$	COSTO TOTAL ENERGIA SOLAR \$	AHORRO \$
ENERO	301.387	362	109.102.094	51235,79	259	18.547.356	13.270.070	5.277.286
FEBRERO	369.600	362	133.795.200	62832	259	22.745.184	16.273.488	6.471.696
MARZO	403.524	362	146.075.688	68599,08	259	24.832.867	17.767.162	7.065.705
ABRIL	394.023	362	142.636.326	66983,91	259	24.248.175	17.348.833	6.899.343
MAYO	433.382	362	156.884.284	73674,94	259	26.670.328	19.081.809	7.588.519
JUNIO	511.677	362	185.227.074	86985,09	259	31.488.603	22.529.138	8.959.464
JULIO	437.715	362	158.452.830	74411,55	259	26.936.981	19.272.591	7.664.390
AGOSTO	492.489	362	178.281.018	83723,13	259	30.307.773	21.684.291	8.623.482
SEPTIEMBRE	469.452	362	169.941.624	79806,84	259	28.890.076	20.669.972	8.220.105
OCTUBRE	440.610	362	159.500.820	74903,7	259	27.115.139	19.400.058	7.715.081
NOVIEMBRE	449.038	362	162.551.756	76336,46	259	27.633.799	19.771.143	7.862.655
<b>TOTAL</b>	<b>4.702.897</b>		<b>\$ 1.702.448.714</b>	<b>799492</b>		<b>\$ 289.416.281</b>	<b>\$ 207.068.555</b>	<b>\$ 82.347.726</b>

**Fuente:** Aje Colombia S.A



### **Beneficios ambientales**

De acuerdo a los cálculos realizados con la ejecución de este proyecto se estará dejando de emitir 203 toneladas de carbono al ambiente al año, esto equivale a un 15 % menos que los años anteriores de acuerdo a los datos de la huella de carbono de 2017 y 2018 de Aje Colombia. Lo anterior es muy importante ya que si se reduce la cantidad de CO<sub>2</sub> que se emite al medio ambiente se va a mermer el calentamiento global y por ende a mitigar el cambio climático que está deteriorando el medio ambiente. De igual manera la instalación de este sistema fotovoltaico equivaldría a 33688 árboles sembrados al año.

Otro beneficio ambiental es que se estaría generando energía sostenible, es decir al producirla no se estaría afectando el planeta por ende no se verían afectadas las generaciones futuras.

## Conclusiones

El presente proyecto es viable porque permite disminuir el consumo de los recursos naturales y generar ahorros anuales en el costo del servicio para la compañía de un 28%, esto equivale a 82 millones de pesos aproximadamente, este ahorro se verá reflejado a partir del sexto (6) mes de ubicado el sistema ya que durante este periodo se retornara la inversión de las adecuaciones civiles y de trabajo seguro en alturas.

Por medio de este estudio se demuestra que la empresa dejaría de producir 203.1 kg/año de CO<sub>2</sub> y así minimizar los impactos en el medio ambiente.

Según la evaluación costo beneficio la inversión de \$400 millones de pesos necesarios para la adecuación civil, TSA, entre otros tendrá un retorno de inversión no superior a 6 meses según la proyección de ahorro vista en la tabla 6.

La viabilidad del proyecto también se sustenta debido al modelo de negocio con el cual se ejecutaría (PPA: pague la energía consumida) donde, como se indica en la justificación la inversión en la instalación y mantenimiento del sistema sería de \$0, ya que dentro del modelo de contrato que se realizaría con la empresa que instalaría el sistema solo se pagara la energía consumida, el diseño, los costos de construcción, instalación y mantenimiento el sistema por los años de contrato serán asumidos por la empresa contratada.

### **Recomendaciones**

Para la implementación del sistema se requerirá de 1440 paneles solares de las siguientes características; silicio monocristalino, 72 células por panel, dimensiones en mm 956 x 992 x 40, peso en kg 22,7, eficiencia del módulo 19,3%, poder máximo (WP) 375 y voltaje máximo (V) 39, esto permitirá que el sistema tenga una vida útil de 15 años.

Teniendo en cuenta que un sistema off-grid incrementaría los costos del sistema puesto que las baterías para almacenar la energía producida tienen un costo elevado y que se necesitaría un gran espacio para su ubicación la recomendación es utilizar el sistema on-grid

Se propone realizar la interconexión en los circuitos de reserva de la subestación dos, en el lado posterior del barraje pues allí se dispone de más capacidad de la barra, según diagramas unifilares In es 5000 A y un totalizador es de 5000 A, en dicho punto se requiere conectar un sistema de 15 inversores de referencia Power electronics.

Se recomienda que, para el buen funcionamiento del proyecto, las zonas de cubierta donde vayan a ubicarse los paneles cumplan con la resolución 1409 de 2013.

Se recomienda que la empresa prestadora del servicio cumpla con todos los requisitos de seguridad, elementos de protección y certificaciones de trabajo seguro en altura, como lo establece la resolución 1409 de 2013.

Se recomienda instalar el sistema para trabajo seguro en alturas (puntos de anclaje y líneas de vida) en las cubiertas de la planta.

Se recomienda realizar el reforzamiento de las correas ajustándolas al reglamento vigente sismo resistente NSR 10 y posterior a esto se debe hacer una validación de la estabilidad de la misma por parte de Ingeniería de EPSA-CELSIA.

Se recomienda instalar el sistema se debe realizar pruebas de estanqueidad con el fin de verificar posibles deterioros de la teja y presencia de depresiones que puedan llevar a una sobrecarga de la cubierta.

## Referencias

- Acciona. (s.f.). *Acciona*. Obtenido de <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>
- Alibaba.com*. (s.f.). Obtenido de Alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/100watt-125w-140-watt-145w-150-wp-12v-black-solar-panel-build-homemade-solar-panel-60472671443.html>
- Ambiente soluciones. (s.f.). *Conexión on/grid*. Obtenido de [https://www.ambientesoluciones.com/sitio/contenidos\\_mo.php?c=430](https://www.ambientesoluciones.com/sitio/contenidos_mo.php?c=430)
- Antioquia, U. d. (7 de Julio de 2019). *Centro virtual de noticias*. Obtenido de <https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/article-117028.html>
- Cantillo, E., & Conde, F. (2011). Diagnóstico técnico y comercial del sector solar fotovoltaico en la región Caribe Colombiana. *Repositorio digital e institucional*, 81-88.
- Celsia. (2018). Proyecto Solar Fotovoltaico Aje Colombia s.a.
- Celsia. (2018). *Todo lo que debes saber sobre energía solar en Colombia*. Obtenido de <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia>
- Cleanergysolar.com*. (2015). Obtenido de <https://renovablesconsaburum.files.wordpress.com/2015/12/tablas-factor-correccion-k.pdf>
- Efimarket*. (01 de 03 de 2018). Obtenido de <https://www.efimarket.com/blog/la-hora-solar-pico-hsp-sirve-calcularlo/>
- El universal. (16 de Noviembre de 2016). *La energía en la Costa: un problema de hace más de una década*. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.co/regional/la-energia-en-la-costa-un-problema-de-hace-mas-de-una-decada-240194-AXEU348549>
- Espitia, L. (15 de Octubre de 2014). *Paneles solares*. Obtenido de <http://enerficaz.blogspot.com/>
- Garriga, A. (Enero de 2017). *Resumen de CCPM (Critical Chain)*. Obtenido de Recursos enprojectmanagement: <https://www.rekursosenprojectmanagement.com/critical-chain/>
- Gestion-Calidad.com, Admin. (04 de 09 de 2016). *Gestión de Calidad*. Obtenido de <http://gestion-calidad.com/medio-ambiente/energias-renovables>
- Guevara, L. (21 de Mayo de 2018). *La República*. Obtenido de Olímpica instaló planta de 1.168 paneles solares en una tienda Sao de Barranquilla:

- <https://www.larepublica.co/empresas/olimpica-instalo-planta-de-1168-paneles-solares-en-una-tienda-sao-de-barranquilla-2729603>
- IDEAM. (s.f.). *Atlas de radiación solar*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21129/.../2a207e33-fe43-4aa3-930d-70ba60b10d57>
- Mas libertad. (18 de Enero de 2018). *Colombia redujo sus emisiones de CO2 en 2017*. Obtenido de <https://maslibertad.com.co/colombia-redujo-sus-emisiones-de-co2/>
- Mendez, J., & Cuervo, R. (2007). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: FC Editorial.
- Mendez, J., & Cuervo, R. (2007). Energía solar fotovoltaica 2da Edición. En R. C. Javier Mendez, *Energía solar fotovoltaica 2da Edición* (pág. 15). Fc editorial.
- Montoya, C. (2011). Energía Solar Fotovoltaica. *Escuela de organización industrial*, 6 -8.
- Moro, M. (2010). *Instalaciones solares Fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.
- Mouthón, L. (10 de Junio de 2018). *El Heraldo*. Obtenido de La Costa toma el liderazgo en desarrollo de energías alternativas: <https://www.elheraldo.co/economia/la-costa-toma-el-liderazgo-en-desarrollo-de-energias-alternativas-505416>
- Pep Puig, M. (s.f.). Energía renovables para todos. *Energías renovables*, 2.
- Ramirez, J. G. (Octubre de 2017). La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas. *Repositorio institucional*, 12. Obtenido de La energía solar fotovoltaica en Colombia: potenciales, antecedentes y perspectivas: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312>
- Rocha, C. M. (2015, p. 259). *Metodología de la investigación*. México: Progreso S.A de C.V.
- Rodriguez, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 1-7.
- Roldan, J. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo.
- Schneider, H., & Samaniego, J. L. (2009). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. *CEPAL-Colección documentos de proyectos*, 8.
- Sitio solar.com portal de energías renovables. (2013). *Sitio solar.com portal de energías renovables*. Obtenido de <http://www.sitiosolar.com/la-historia-de-la-energia-solar-fotovoltaica/>
- solar, E. (2018). <https://solar-energia.net/energias-renovables>. Obtenido de Energía Renovable: <https://solar-energia.net/energias-renovables>

- Universia. (04 de septiembre de 2017). *Universia*. Obtenido de <https://noticias.universia.cr/educacion/noticia/2017/09/04/1155475/tipos-investigacion-descriptiva-exploratoria-explicativa.html>
- Universidad de Alicante. (s.f.). *Técnicas de investigación*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/tecninvestigacionsocial/temas-y-contenidos/tema-2-fuentes-secundarias-y-documentacion2/datos-primarios-y-datos-secundarios>
- Weather Spark. (s.f.). *El clima promedio en Malambo*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/23475/Clima-promedio-en-Malambo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity>
- Wega Lighting. (s.f.). *Como funciona un sistema On-Grid*. Obtenido de <http://www.wega-lighting.com/energy/inversores/sistema-on-grid/>
- WWF. (2018). WWF. Obtenido de [http://www.wwf.org.co/que\\_hacemos/agua/](http://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/)
- York castillo, M. C. (2014, p.46). Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico Colombiano. 39-46.

Anexos

Anexo 1. Factor de corrección de K para superficies inclinadas

Latitud = 10º												
Inc	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.03	1.02	1.01	.99	.98	.98	.98	.99	1.01	1.03	1.04	1.04
10	1.05	1.04	1.01	.98	.95	.94	.95	.98	1.01	1.04	1.06	1.07
15	1.07	1.04	1	.96	.92	.91	.92	.96	1.01	1.05	1.09	1.09
20	1.08	1.04	.99	.94	.88	.86	.88	.93	.99	1.06	1.1	1.11
25	1.09	1.04	.97	.9	.84	.81	.83	.89	.98	1.06	1.11	1.11
30	1.08	1.03	.95	.87	.79	.76	.78	.85	.95	1.05	1.11	1.12
35	1.08	1.01	.92	.82	.73	.7	.73	.81	.92	1.03	1.1	1.11
40	1.06	.99	.88	.77	.67	.63	.66	.76	.88	1	1.09	1.1
45	1.04	.95	.84	.72	.61	.56	.6	.7	.84	.97	1.07	1.08
50	1.01	.92	.79	.66	.54	.49	.53	.64	.79	.94	1.04	1.06
55	.97	.88	.74	.6	.46	.41	.45	.57	.73	.89	1	1.02
60	.93	.83	.68	.53	.39	.34	.38	.5	.67	.84	.96	.99
65	.89	.78	.62	.46	.31	.26	.3	.43	.61	.79	.91	.94
70	.83	.72	.55	.39	.23	.17	.22	.35	.54	.73	.86	.89
75	.78	.66	.49	.31	.15	.11	.14	.28	.47	.66	.8	.84
80	.72	.59	.41	.24	.11	.1	.09	.2	.39	.59	.74	.77
85	.65	.52	.34	.16	.1	.09	.09	.12	.32	.52	.67	.71
90	.58	.45	.27	.11	.09	.08	.08	.08	.24	.44	.6	.64

Fuente: (Cleanegysolar.com, 2015)

2. Ficha Inversor



**Inversor central Power Electronics 50kW  
FREESUN LVT FS0050**

**Eficiencia**  
96.2%

**Garantía**  
Producto garantizado para 5 años.

**Características eléctricas**

Potencia nominal(kW)	50.0
Potencia pico(kWp)	60.0
Potencia máx.(kVA)	50.0
Tensión máx.(V)	900.0
Intensidad máx.(A)	129.0
Tensión mín.(V)	450
Tensión máx.(V)	820.0
Entradas MPP	1
Monitorización de red	ENS
Protocolo de comunicaciones	RS232 , RS485



**Power Electronics, sol energía y deporte**

La empresa valenciana de energía, con más de dos décadas de experiencia, ofrece inversores Freesun con un rango de potencias de 20 a 1000kW, un rendimiento europeo de un 96,5% y una buena relación calidad-precio. Power Electronics, patrocinador del nuevo equipo de MotoGP Power Electronics Aspar Team, fabrica convertidores que no necesitan un data logger pues tienen esta función incorporada al igual que una protección opcional contra sobretensiones. Recientemente, estos equipos de potencia han pasado las pruebas para la certificación en Italia y Alemania, los dos países líderes en fotovoltaica.

**Características técnicas**

Entradas CC	3
Protección IP	IP21
Transformador	Sí
Display	Sí

**Ref:** AE10605

Anexo técnica



Fuente:

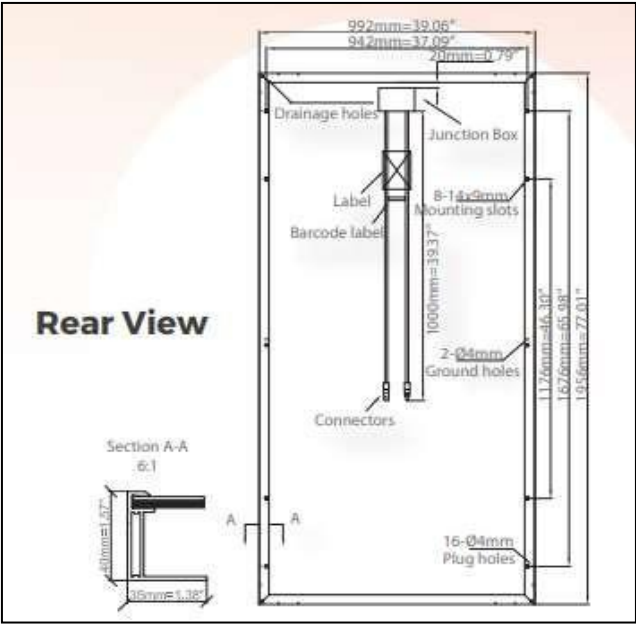
Krannich Solar

Anexo 3. Especificaciones técnicas panel solar

Electrical Characteristics						
MODEL	UP-M350M	UP-M355M	UP-M360M	UP-M365M	UP-M370M	UP-M375M
Max Power Pm (Wp)	350	355	360	365	370	375
Max Power Voltage Vm (V)	38.0	38.2	38.4	38.6	38.8	39.0
Max Power Current Im (A)	9.21	9.29	9.38	9.46	9.54	9.62
Open-Circuit Voltage Voc (V)	48.2	48.5	48.8	49.0	49.2	49.4
Short-Circuit Current Isc (A)	9.59	9.67	9.75	9.83	9.91	9.99
Module Efficiency	18.0%	18.3%	18.6%	18.8%	19.1%	19.3%
Maximum System Voltage (V)	1000(IEC)/1000(UL), 1500(IEC)/1500(UL)					
Power Tolerance	0/+3%					
Series Fuse Rating (A)	20A					
STC: Irradiance 1000 W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5						

Components & Mechanical Data	
Front Glass	High Transparency Tempered Glass 0.125" // 3.2 mm
Junction Box	IP 65 or above
Bypass Diode	3 diodes
Output Cables	1.0 m // IEC, UL approved (4 mm², 12AWG) (PV Wire Type)
Connectors	MC4 compatible (IP67, IEC and UL approved)
Frame	Anodized aluminium alloy type 6063-T5
Encapsulation Material	EVA (0.018" // 0.45 mm ± 0.001" // 0.03 mm thickness)
Back Sheet	White multilayer polymer film
Temperature Range	-40°F to +194°F // -40°C to +90°C
Max Load	75 lbs / ft² (UL Standard) // 5400 Pa (IEC Standards)
Impact Resistance	Steel ball - 1.18 lbs // 535 g dropped from 51" // 1.3 m high

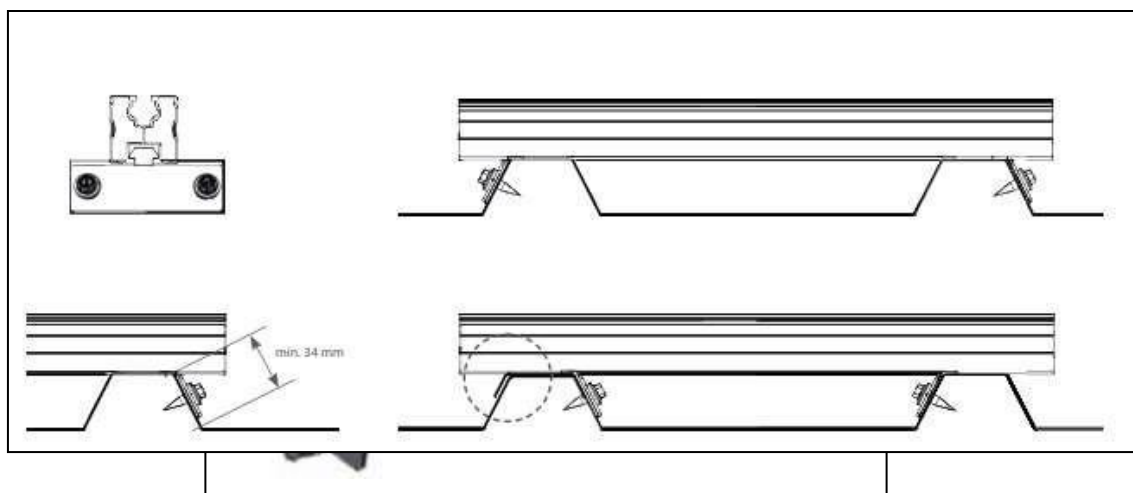
Specifications		Temperature Coefficients	
Cells	Monocrystalline silicon solar cells 6" x 6" // 156 mm x 156 mm	NOCT ( °C )	45 ± 2
Number of Cells	72 (6 x 12)	Temperature Coefficients of Isc (% / °C )	0.05 ± 0.01
Dimensions ( in // mm )	77.01 x 39.06 x 1.57 // 1956 x 992 x 40	Temperature Coefficients of Voc (% / °C )	-0.30 ± 0.02
Weight ( lb // kg )	50.0 // 22.7	Temperature Coefficients of Im (% / °C )	-0.02 ± 0.02
		Temperature Coefficients of Vm (% / °C )	-0.42 ± 0.03
		Temperature Coefficients of Pm (% / °C )	-0.40 ± 0.05



Fuente: Upsolar

## Anexo 4. Especificaciones técnicas del soporte

Material	Componentes de sujeción: Acero de alto grado 1.4301; tornillos / pernos: acero de alta calidad, travesaño: aluminio, juntas / sellado: juntas de caucho EPDM.
Diferentes diseños	Adecuado para todos los diseños de chapa trapezoidal y elementos sándwich actuales.
Ayuda a la planificación	Configuración y dimensionamiento estructural con Auto Calculator Easy y Schletter Configurator.
Análisis estructural	Análisis estructural de acuerdo con las normas nacionales vigentes (en Alemania DIN EN 1991, EC1).



Fuente: Schletter